

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE

3.1.E - 166 - 81

INSTRUCȚIUNI TEHNOLOGICE DE
VERIFICARE PREVENTIVĂ A TRANSFORMATOARELOR
DE MĂSURĂ DIN STAȚII ȘI REȚELE

ICEMENERG

București - 1984

Lucrare elaborată de: ing. B.Mamjinski, ing. G. Liceica
și ing. M. Nestor - ICEMENERG

Tiraj 1528 ex. + 29 ex.
Coli ed.:9,50. Coli tipo.:9,50
Format A₅

M.E.E.-ICEMENERG 01.3.1.EI-66-81

CUPRINS

Pag.

Prezentarea instrucțiunilor tehnologice de verificare preventivă a transformatoarelor de măsură. Domeniul de aplicare	5
A. Instrucțiunile tehnologice de verificare preventivă a transformatoarelor de tensiune	7
1. Clasificarea transformatoarelor de tensiune și marcarea bornelor	8
* 2. Pregătirea transformatoarelor pentru probe	12
3. Execuția probelor	17
3.1. Prelevarea uleiului izolant	18
3.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor	24
3.3. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ($\tan \delta$) ale izolației principale	29
3.4. Încercarea izolației înfășurărilor secundare cu tensiune alternativă mărită	43
3.5. Încercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită	47
3.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor transformatoarelor de tensiune	58
3.7. Verificarea polarității înfășurărilor ..	67
3.8. Verificarea raportului de transformare la transformatoarele de tensiune	70
3.9. Ridicarea caracteristicii de mers în gol	77
3.10. Verificarea circuitului antiferorezonant la transformatoarele capacitive TECU - 110 - 400 kV	81
B. Instrucțiunile tehnologice de verificare preventivă a transformatoarelor de curent	87
1. Clasificarea transformatoarelor de curent și marcarea bornelor	88
2. Pregătirea transformatoarelor pentru probe	93
3. Execuția probelor	97
3.1. Prelevarea uleiului electroizolant	98
3.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor	103

3.3. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ($\tan \delta$) ale izolației principale	109
3.4. Incercarea izolației înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent cu tensiune alternativă mărită	122
3.5. Incercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită	126
3.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor transformatoarelor de curent	131
3.7. Verificarea polarității înfășurărilor	139
3.8. Verificarea raportului de transformare la transformatoarele de curent	140
3.9. Ridicarea caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele de curent	143

PREZENTAREA INSTRUCȚIUNILOR TEHNOLOGICE DE VERIFICARE PREVENTIVĂ A TRANSFORMATOARE- LOR DE MĂSURĂ. DOMENIUL DE APLICARE

1. Prezentele instrucțiuni completează "Normativul de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice", PE 116/80 în ceea ce privește:

- metodele de verificare;
- aparatura de încercare și măsură necesară pentru execuția probelor;
- modul de lucru;
- normele specifice de protecție a muncii.

Totodată, prezentele instrucțiuni aduc unele precizări suplimentare față de normativul PE 116/80 în ceea ce privește:

- condițiile de execuție a probelor;
- interpretarea rezultatelor.

2. La elaborarea prezentelor instrucțiuni de verificare preventivă s-au avut în vedere în primul rând transformatoarele de măsură de 6 - 400 kV fabricate în țară, cu care sînt dotate majoritatea instalațiilor M.E.E. Instrucțiunile respective pot fi utilizate, prin adaptare, și la verificarea preventivă a transformatoarelor de măsură de alte fabricații.

3. Prezentele instrucțiuni se adresează personalului din întreprinderile de centrale și rețele electrice, care execută efectiv verificările preventive ale echipamentului electric de înaltă tensiune. Ele au scopul de a uniformiza aparatura și metodele de măsură adoptate, în vederea obținerii unor rezultate reproductibile care vor facilita comparațiile între transformatoare de măsură de același tip și cu aceeași vechime în exploatare.

4. Instrucțiunile tehnologice de verificare preventivă a transformatoarelor de măsură au fost elaborate în conformitate cu următoarele standarde, normative și instrucțiuni în vigoare:

- STAS 4323-70 - Transformatoare de tensiune. Condiții generale.
- STAS 4324-70 - Transformatoare de curent. Condiții generale.

-PE 116/80 - Normativ de încercări și măsurători
la echipamente și instalații electrice.

-Instrucțiunile de montaj și exploatare (cărțile
tehnice) ale prodeselor, elaborate de furnizorul trans-
formatoarelor de măsură (I.E.P.C.).

5. Față de normativul PE 116/80, în prezentul nor-
mativ nu a fost indicată tehnologia de verificare a sar-
cinii circuitului conectat la bornele secundare ale
transformatoarelor de măsură. Această operație este efec-
tuată, în mod normal, în exploatare de către personalul
PRAM și nu de către personalul echipelor de încercări,
care execută verificările preventive ale echipamentului
electric de înaltă tensiune, căruia i se adresează pre-
zentele instrucțiuni.

A. INSTRUCTIUNILE TEHNOLOGICE DE VERI-
FICARE PREVENTIVĂ A TRANSFORMATOA-
RELOR DE TENSIUNE

1. CLASIFICAREA TRANSFORMATOARELOR DE TENSIUNE ȘI MARCAREA BORNELOR

Prezentele instrucțiuni au în vedere verificarea preventivă a tuturor tipurilor de transformatoare de tensiune de 6 - 400 kV, existente în instalațiile sistemului energetic național. Acestea se pot clasifica, după cum urmează:

1.1. Din punct de vedere constructiv:

- monofazate, permițind conectarea între o fază și nulul rețelei (monopolare) sau între două faze (bipolare);
- trifazate, permițind conectarea în rețelele trifazate cu sau fără fir neutru.

1.2. Din punct de vedere al condițiilor de funcționare:

- pentru exterior, putând fi montate în instalații exterioare în care temperatura ambiantă poate varia, conform STAS 4323-70, între -30°C și $+40^{\circ}\text{C}$, iar umiditatea relativă poate fi de 100 % la 20°C ;

- pentru interior, putând fi montate numai în încăperi închise în care temperatura ambiantă variază între -5°C și $+40^{\circ}\text{C}$, iar umiditatea relativă nu depășește 70 % la 20°C .

NOTĂ

Întrucât instalațiile în care sînt montate transformatoarele de tensiune de exterior pot fi situate și în zone poluate, la execuția fiecărei probe se vor indica măsurile suplimentare ce trebuie luate pentru execuția probei, în cazul instalațiilor poluate.

1.3. Din punct de vedere al principiului de funcționare:

- transformatoare inductive, avînd înfășurările primară și secundară bobinate pe același miez magnetic;
- transformatoare - capacitive (sau, mai corect, capacitiv inductive), la care transformatorul este format dintr-un divizor capacitiv, la a cărui priză intermediară este racordat un transformator inductiv de medie tensiune.

NOTĂ.

În privința transformatoarelor monofazate-inductive, acestea pot fi cu izolație plină, atunci cînd toate părțile înfășurării primare, inclusiv bornale, sînt izolate față de pămînt la un nivel corespunzător nivelului nominal al izolației sau cu izolație gradată (degresivă), atunci cînd una din extremitățile înfășurării primare este izolată față de pămînt, la un nivel inferior nivelului de izolație nominal.

1.4. Din punct de vedere al izolației de bază:

- transformatoare uscate, la care întreaga construcție sau parțial, numai înfășurarea de înaltă tensiune este înglobată în rășină epoxidică;

- transformatoare în ulei, la care partea activă a transformatorului este inclusă în ulei electroizolant.

În privința transformatoarelor în ulei, utilizate în special în exterior, acestea pot fi cu respirație liberă (uleiul din interiorul cuvei sau carcasei izolante fiind în contact direct cu aerul atmosferic) sau etanșe (etanșarea fiind realizată cu ajutorul unui burduf sau a unei membrane de cauciuc, care preia variațiile de volum ale uleiului din interior).

1.5. După numărul înfășurărilor secundare:

- transformatoare cu o singură înfășurare secundară destinată măsurii și protecției;
- transformatoare cu două înfășurări secundare, la care una din înfășurări este destinată măsurii și protecției, iar cea de-a doua înfășurare, conectată în triunghi deschis, este destinată alimentării protecției homopolare (înfășurare auxiliară);

- transformatoare cu trei înfășurări secundare, pentru măsură, respectiv protecție și protecție homopolară.

1.6. Din punct de vedere al tensiunii primare:

- transformatoare de medie tensiune, de 6-35 kV, conectate în rețele cu neutrul izolat, compensat sau pus la pământ prin rezistență;

- transformatoare de înaltă tensiune, de 110-400 kV conectate în rețele cu neutrul legat efectiv la pământ.

Principalele tipuri de transformatoare de tensiune fabricate în prezent în țara noastră sînt:

a) pentru medie tensiune:

- transformatoarele TIRM₀ 6-35 kV, transformatoare inductive de interior, cu izolație din rășină epoxidică, monofazate, cu izolație degresivă, în execuțiile vechi (TIRM) sau modernizată (TIRM₀);

- transformatoarele TIRM₀ 6-Glo ... TIRM₀ 24-G35, transformatoare de interior cu izolație din rășini epoxidice, monopolare, cu tensiunea nominală de 6 ... 24 kV, cu gabarit mărit, corespunzător unei clase de izolație superioare (Glo ... G35 kV), pentru montarea la bornele turbo sau hidrogenatoarelor;

- transformatoarele TIRB₀ 6-35 kV, transformatoare inductive de interior, cu izolație din rășini epoxidice, monofazate, bipolare, în execuție veche (TIRB) sau modernizată (TIRB₀);

- transformatoarele IBU (TTMU) 6 - 15 kV, transformatoare de interior, monofazate, cu ulei, de 6, 10, 15 kV;

- transformatoare TITU (TTU2) 6 - 15 kV, transformatoare de interior trifazate, cu ulei, de 6, 10, 15 kV;

- transformatoare TEMU (TTMU2) 20 - 35 kV, transformatoare de exterior, monofazate cu ulei, de 20, 25, 35 kV;

- transformatoare TEBU (TTMU) 20 - 35 kV, transformatoare de exterior, bifazate, cu ulei, de 20 și 25 kV.

b) pentru înaltă tensiune:

- transformatoarele TEMU-110 kV (TTMU-2-110 kV), transformatoare inductive de exterior, monofazate, cu izolație degresivă, în ulei, de 110 kV;

- transformatoarele TFCU-110-400 kV, transformatoare capacitive, de exterior, monofazate, în ulei, de 110, 220, 400 kV.

1.7. Marcarea bornelor

Atît în schemele de măsură, care alimentează aparate pentru măsurarea puterii active și reactive sau pentru înregistrarea energiei, cît și în schemele de protecție care alimentează relee de distanță, direcționale sau dispozitive de sincronizare, transformatoarele de tensiune trebuie să asigure nu numai transformarea tensiunii primare cu o eroare garantată, dar și sensul corect de transformare.

Din acest motiv, bornele primare și cele secundare ale transformatoarelor de măsură sînt notate în așa fel, încît curentul în circuitul secundar exterior să treacă în același sens ca și cum circuitul ar fi conectat direct la bornele primare.

Conform STAS 4323-70, bornele primare se notează cu litere mari, iar bornele secundare se notează cu aceleași litere, însă mici. În cazul existenței mai multor înfășurări secundare, literele respective sînt urmate de indici care precizează numărul înfășurărilor respective. În aceste condiții, pentru transformatoarele de fabricație IEPG s-au adoptat următoarele moduri de marcăre:

- pentru transformatoarele monofazate de tensiune:
 - A - pentru începutul înfășurării primare;
 - N^x - pentru sfîrșitul înfășurării primare;
 - a - pentru începutul înfășurării secundare, precedat de indicii 1, pentru înfășurarea de măsură - protecție și 2, pentru înfășurarea auxiliară de protecție homopolară;
 - n - pentru sfîrșitul înfășurării secundare, precedat de indicii 1 și 2, în cazul transformatoarelor de tensiune cu două înfășurări secundare;

x) ^ în normele mai vechi, sfîrșitul înfășurării primare se nota cu X, iar al înfășurării secundare, cu x.

- pentru transformatoarele trifazate de tensiune:

A, B, C - pentru începuturile celor trei faze ale înfășurării primare;

N(X) - pentru neutrul înfășurării primare (în cazul în care este conectat la o bornă accesibilă);

a, b, c - pentru începuturile celor trei faze ale înfășurării secundare de măsură-protecție;

n - pentru neutrul înfășurării de măsură-protecției;

a₁, n₁ - pentru începutul și sfârșitul înfășurării auxiliare de protecție homopolară.

2. PREGĂTIREA TRANSFORMATOARELOR PENTRU PROBE

Verificarea preventivă a transformatoarelor de tensiune se execută pe bază de autorizatie de lucru, cu scoaterea parțială de sub tensiune a instalației (celula de măsură sau de linie, în care sînt montate transformatoarele de măsură).

Pe lângă măsurile tehnice și organizatorice prevăzute în "Normele de protecție a muncii pentru instalații electrice", pentru execuția acestei categorii de lucrări, în vederea asigurării corectitudinii și a reproductibilității rezultatelor, se impune luarea următoarelor măsuri pregătitoare, înainte de începerea verificărilor:

2.1. Separarea transformatoarelor de măsură de circuitele instalației

Atît în instalațiile exterioare, cît și în cele interioare separarea transformatoarelor trebuie efectuată atît pe partea de înaltă tensiune, prin demontarea legăturilor la bornele primare ale transformatoarelor, cît și pe partea secundară.

Separarea transformatorului pe partea de înaltă tensiune se impune, în special, în cazul verificărilor de izolație (măsurarea rezistenței de izolație, a tg δ etc.), pentru a nu măsura în paralel cu obiectul verificat (transformatorul de măsură) și alte elemente ale stației, care pot falsifica măsurarea. Separarea numai prin des-

inchiderea separatoarelor este insuficientă, intrucât $tg \delta$ a izolatoarelor de porțelan, armate cu chit sau ciment de armare, este mult mai mare decât cea a transformatoarelor de măsură. Aceeași falsificare a rezultatelor poate avea loc și în cazul separării prin deschiderea întreruptorului, din cauza $tg \delta$ mult mai mari a uleiului de acționare al acestuia.

Din acest motiv, în cazul instalațiilor de 110-400 kV se recomandă demontarea legăturilor de la bornele transformatorului de măsură verificat, scurtcircuitarea legăturilor și îndepărtarea lor la cel puțin 1 m. de capul transformatorului verificat. Legăturile scurtcircuitate vor fi puse la pământ.

În stațiile exterioare de 110 - 400 kV, în cazul transformatoarelor de măsură situate sub cîmpul de bare al celei, pentru reducerea influențelor electrostatice și electromagnetice asupra obiectului încercat, în special la măsurarea $tg \delta$, se recomandă punerea la pământ a cîmpului de bare în două puncte, prin închiderea cutitelor de punere la pământ ale separatorului (în celulele în care separatorul este prevăzut cu cutite de punere la pământ) sau prin montarea unui scurtcircuitor de punere la pământ a cîmpului de bare din celulă.

Separarea legăturilor, pe partea de joasă tensiune, de circuitele stației se impune atît în cazul probelor de izolație care vizează înfășurările secundare (rezistențe de izolație, măsurarea $tg \delta$ în anumite scheme de măsură, încercarea cu tensiune mărită a secundarelor etc.), cît și în cazul probelor care au drept scop integritatea și precizia de măsură (măsurarea rezistențelor ohmice, ridicarea caracteristicilor volt-ampermetrice, verificarea raportului de transformare etc.).

Prezența sarcinii secundare exterioare, în cazul acestor probe, conduce la denaturarea rezultatelor și la imposibilitatea comparării rezultatelor obținute cu cele din buletinele de fabrică sau cu cele inițiale.

Înainte de deconectarea legăturilor de la bornele secundare, este necesară etichetarea firelor ce urmează a fi demontate. În acest scop, se pot utiliza etichete din carton sau prespan, legate cu sfoară la capătul fiecărui fir.

Pe etichetă se trece denumirea exactă a bornei de la care urmează să se dezlege conductorul.

2.2. Verificarea aspectului exterior

Operațiile de verificare sînt diferite în funcție de tipul transformatorului de măsură:

a) Pentru transformatoarele cu izolație de hirtie impregnată cu ulei, în cuvă metalică sau în carcasă izolantă:

- controlul nivelului de ulei, prin urcarea pe seară la nivelul indicatorului de ulei;

- verificarea stării garniturilor la capul trafo și la bază;

- verificarea lipsei fisurilor în carcasa de porțelan sau în cazul bornelor primare și secundare din porțelan;

- verificarea lipsei scurgerilor de ulei la capul trafo sau la bază și controlul strîngerii șuruburilor de fixare;

- verificarea stării bornelor de joasă tensiune (lipsa scurgerilor de ulei pe la garnituri și lipsa fisurării bolțurilor).

În cazul constatării scăderii nivelului de ulei, înainte de începerea probelor, se face completarea transformatorului cu ulei electroizolant TR-30 nou;

b) Pentru transformatoarele cu izolație din rășină epoxidică (uscate):

- controlul stării exterioare a carcasei din rășină epoxidică, pentru depistarea unor eventuale fisuri, crăpături sau urme de arc electric pe suprafața transformatorului;

- controlul stării bornelor primare și secundare.

În cazul în care se constată urme de rugină, clemele se curăță, iar șuruburile și piulițele se înlocuiesc cu altele noi.

2.3. Curățarea transformatoarelor

a) Pentru transformatoarele în ulei, de exterior

Pentru instalațiile situate în zone lipsite de poluare industrială, curățarea constă în simpla ștergere cu o cârpă curată și uscată atît a capului trafo, cît și a carcasei de porțelan. În cazul scurgerilor de ulei pe carcasă, o curățire bună se poate obține prin ștergerea porțelanului cu o cârpă înmuiată în benzină de extracție (neofalină) sau alcool industrial.

Pentru instalațiile situate în zone cu poluare industrială, se recomandă execuția probelor cu ocazia operațiilor de reungere a carcaselor de porțelan cu vaselină siliconică sau minerală.

Probele de izolație se vor efectua, de preferință, după îndepărtarea stratului de vâșalină siliconică sau minerală saturat cu depuneri și înainte de aplicarea noului strat, pentru a nu se falsifica unii parametri ai izolației, ca de exemplu, rezistența de izolație și tg δ globală.

În toate cazurile, ștergerea va fi efectuată pînă la îndepărtarea oricărei urme de umezeală de pe suprafața carcăsei de porțelan.

În privința bornelor secundare, acestea se vor șterge cu o cârpă uscată, pînă la îndepărtarea completă a prafului și a umidității.

b) Pentru transformatoarele în rășină epoxidică de interior

Operația de curățare constă în ștergerea cu o cârpă curată și uscată, pînă la îndepărtarea totală a prafului și umidității de pe suprafața acestora și de pe bornele secundare.

2.4. Pregătirea locului de lucru și măsurile de protecție a muncii la execuția probelor

Pregătirea locului de muncă și execuția verificărilor preventive la transformatoarele de măsură se va face în conformitate cu "Normele de protecție a muncii pentru instalațiile electrice", aprobate cu ordinul M.E.E., nr. 198/5-III-1971, ultima ediție.

Lucrările de la pct. 7.3.; 7.4.; 7.5.; 7.8.; 7.9.; și 7.10. din normativul PE 116/80, la care este necesară alimentarea transformatorului dintr-o sursă independentă de tensiune mărită sau este posibilă apariția înaltei tensiuni pe înfășurarea primară, ca urmare a alimentării cu joasă tensiune a înfășurării secundare, necesită respectarea cu strictețe a cap.16, "Norme de protecție a muncii specifice la execuția încercărilor profilactice în instalațiile electrice de înaltă tensiune de la o sursă independentă de tensiune mărită", din "Normele de protecție a muncii".

Pentru execuția verificărilor preventive la transformatoarele de măsură trebuie respectate următoarele măsuri suplimentare:

- Scoaterea de sub tensiune a echipamentului supus reviziei trebuie asigurată din toate părțile, prin separare vizibilă de restul instalației rămasă în funcțiune.

- Zona de lucru se delimitează fizic prin îngrădiri provizorii mobile și va fi prevăzută cu plăcuțe avertizoare.

- În cazul încercărilor în timpul cărora este posibilă apariția pe înfășurarea primară a unor tensiuni mai mari decât tensiunea lui nominală, este absolut necesară demontarea legăturilor de la borne, pentru asigurarea distanțelor minime necesare între părțile sub tensiune ale instalației și transformatorul încercat.

NOTĂ.

Separarea transformatorului prin demontarea legăturilor primare și secundare este impusă, în cazul unor probe, chiar de tehnologia încercării, pentru evitarea erorilor, așa cum s-a și arătat la pct. 2.1.

- În cazul execuției verificărilor cu aparatură de încercări transportabilă, când schema de încercare se realizează chiar în imediata apropiere a transformatorului supus probei, atât obiectul încercat, cât și sursa de înaltă tensiune, conductorul de înaltă tensiune, ca și alte elemente ale schemei aflate sub înaltă tensiune în timpul încercării (de exemplu, condensatorul etalon, în cazul măsurării tg δ), se vor îngrădi separat și se vor monta plăcuțe avertivoare cu inscripția "STAI! ÎNALTĂ TENSIUNE"! În timpul încercării, zona respectivă va fi supravegheată în mod deosebit de unul din membrii echipei, care nu va permite accesul, în timpul probei, atât membrilor echipei, cât și altor persoane care nu intră în componența echipei.

Echipa de încercări va fi dotată, în mod obligatoriu, cu ștangă de punere la pământ, fără rezistențe de limitare. În perioada de pregătire a probei, aceasta este montată pe borna primară a obiectului încercat sau pe borna de înaltă tensiune a sursei de înaltă tensiune. Ștanga se ridică la începerea încercării, la cererea responsabilului de lucrare. La terminarea unei încercări, după deconectarea vizibilă a alimentării schemei de încercare de la rețeaua de joasă tensiune, ștanga este pusă pe borna de înaltă tensiune, de către responsabilul de lucrare, care anunță în continuare întreaga echipă că tensiunea înaltă a fost deconectată. Numai după aceea se poate trece la schimbarea conexiunii obiectului încercat sau la demontarea montajului.

3. EXECUȚIA PROBELOR

Probele se execută, de preferință, în ordinea indicată în normativul PE 116/80.

În stabilirea ordinii probelor s-a avut în vedere frecvența mai ridicată a deteriorărilor de izolație, atât la PIF, cât și în exploatare. Din acest motiv, primele verificări vor fi cele care scot în evidență starea izolației transformatoarelor. Pentru evitarea unor defecțiuni ireversibile (străpungeri ale izolației), verificarea izolației va fi începută cu măsurătorile nedistructive, care pun în evidență starea izolației, și anume:

a) prelevarea uleiului electroizolant pentru probe, la transformatoarelor cu izolația internă formată din hîrtie-ulei și la care normativul PE 116/80 prevede obligativitatea controlului curent la periodicitățile stabilite;

b) măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor;

c) măsurarea tg δ globale a izolației transformatoarelor de 110 - 400 kV, cu izolație internă hîrtie-ulei.

Probele respective sînt sensibile la o degradare în ansamblu a izolației, ca de exemplu: umezirea uleiului sau a hîrtiei electroizolante (în special la transformatoarele cu respirație liberă sau prin filtru cu silicagel), îmbătrînirea termică a hîrtiei electroizolante în ansamblu (mai puțin frecventă la transformatoarele de tensiune, la care creșterea de temperatură datorită sarcinii este foarte redusă), îmbătrînirea uleiului izolant cu formarea de produse polare și reziduuri care degradează și calitatea hîrtiei electroizolante etc.

Nu mai după ce se constată că transformatorul nu prezintă o degradare în ansamblu a izolației, degradare care poate fi remediată prin recondiționarea transformatorului în atelier (prin uscare și reimpregnare cu ulei), se poate trece la execuția probelor cu tensiune mărită, care au rolul de a pune în evidență eventualele defecte concentrate de izolație, la care încercările nedistructive sînt mai puțin sensibile.

Aceste probe sînt urmate de restul verificărilor impuse la PIF și cu ocazia unor reparații accidentale care au rolul de a verifica integritatea înfășurărilor transformatorului și a miezului magnetic, precum și corectitudinea raportului de transformare etc.

În privința execuției măsurătorilor nedistructive, acestea trebuie făcute, de regulă, asociat. Numai printr-o analiză a tuturor rezultatelor se poate trage o concluzie corectă asupra cauzei degradării izolației și a măsurilor de remediere ce se impun, recondiționarea prin uscare și reimpregnarea cu ulei, recondiționarea prin vidare și înlocuirea uleiului îmbătrânit etc.

În cazul transformatoarelor cu respirație liberă sau prin intermediul filtrului cu silicagel, numai execuția simultană a acestor probe permite tragerea unei concluzii corecte asupra umezirii izolației interne a transformatorului.

În funcție de condițiile ambiante, de situația transformatorului de măsură înainte de începerea probelor (deconectat sau conectat) și de faptul că umiditatea într-un transformator de măsură migrează de la mediul cel mai cald spre mediul mai rece, este posibil ca mediul cel mai umed să fie izolația de hirtie sau uleiul electroizolant. Execuția parțială a verificărilor nedistructive poate conduce la rezultate eronate.

3.1. Prelevarea uleiului izolant

3.1.1. Scopul probei

La transformatoarele cu izolație internă formată din hirtie și ulei electroizolant se execută, după caz, controlul curent sau analiza redusă a uleiului electroizolant, în vederea depistării următoarelor cauze posibile de degradare a acestuia:

- umezirea lui, în contact cu umiditatea ambiantă, mai ales în cazul transformatoarelor cu respirație liberă sau a celor cu filtru cu silicagel incorect exploatat;

- oxidarea (îmbătrânirea) uleiului în prezența oxigenului din atmosfera ambiantă sau dizolvat în ulei, urmată de apariția reziduurilor;

- poluarea lui ca urmare a lipsei acurateței de execuție a transformatoarelor în fabrică, dizolvării în timp a unor materiale care intră în componența transformatorului sau a contaminării lui cu particule solide sau gaze existente în mediul ambiant.

În asociere cu celelalte probe nedistructive, care au în vedere starea izolației globale a transformatorului (rezistențe de izolație și tg δ), verificarea uleiului permite tragerea unor concluzii corecte și în ce privește starea izolației solide, din hirtie electroizolantă, a transformatorului.

3.1.2. Condițiile specifice impuse la recoltarea probelor

Recoltarea probelor de ulei se face, de regulă, în sezonul cald (aprilie - septembrie), la temperaturi ambiante între 10° și 30°C , pe timp uscat și frumos (umiditatea atmosferică relativă, sub 80 %), pentru a se evita contaminarea probei.

Se interzice recoltarea probelor pe timp de ploaie, ceață, brumă, vânt puternic și praf.

Recoltarea probelor de ulei se execută numai la transformatoarele de tensiune inductive de 110 - 220 kV și din cuva inductivă a transformatoarelor capacitive tip TECU - 110 - 400 kV. Luarea probelor din condensatoarele etanșe ale transformatoarelor capacitive este interzisă.

Recoltarea probei de ulei se face, de preferință, imediat după deconectarea transformatorului (transformatorul de măsură este încă în stare caldă).

În această situație, este de presupus că eventualele umidități existente în transformator mai este încă cedată de mediul mai cald (bobinajul), mediului mai rece. (uleiul de transformator).

3.1.3. Modul de recoltare a probei. Dispozitivul de recoltare

Probele se recoltează numai de la bușoanele speciale de golire și luare a probelor de ulei, situate la baza transformatoarelor.

a) Prelevarea uleiului din transformatoarele inductive de tensiune TECU - 110 kV

- Prelevarea uleiului direct în sticlă:

- se fixează scare necesară electricianului care prelevează uleiul ;
 - se deșurubează capacul (de formă hexagonală) cu o cheie reglabilă sau cheie fixă de 32 mm, respectiv de 36 mm (la transformatoarele de fabricație mai vechi);
 - se șterge cu o cârpă curată bușonul filetat .
- Nu se va utiliza bumbac, pentru a nu rămâne scame care ar putea fi antrenate în sticla de recoltare;
- se slăbește șurubul cu cap hexagonal pînă începe să curgă ulei în jet continuu;
 - se repetă operația de ștergere, de astă dată cu uleiul care curge;

- se lasă să curgă cel puțin 2ℓ de ulei;
- se clătesc sticlele cu uleiul care se prelevează;
- se recoltează cantitatea de ulei necesară;
- se fixează dopul sticlei și se asigură contra
căderii;
- se completează transformatorul cu ulei corespunzător.

- Prelevarea uleiului cu un dispozitiv de recoltare auxiliar

În cazul în care nu este posibilă recoltarea uleiului direct în sticlă, datorită distanței insuficiente dintre bușonul de recoltare și suportul pe care se fixează transformatorul, se va utiliza un dispozitiv de recoltare a uleiului, care se montează după îndepărtarea capacului hexagonal (fig.3.1.1.).

Operațiile sînt următoarele:

- se deșurubează capacul și se șterge cu cîrpa bușonul filetat;
- se deșurubează puțin șurubul 8;
- se montează dispozitivul din detaliul A;
- se introduce o șurubelniță pentru deșurubarea în continuare a șurubului 8;
- se lasă să curgă o cantitate de minimum 2 ℓ de ulei;
- se clătește sticla cu ulei;
- se recoltează cantitatea de ulei necesară, introducînd furtunul în sticlă;
- se fixează dopul sticlei și se asigură contra căderii;
- se deșurubează dispozitivul de prelevare, se strînge șurubul 8 și se remontează capacul hexagonal al bușonului de prelevare;
- se completează transformatorul cu ulei pe la partea superioară.

b) Prelevarea uleiului de la transformatoarele capacitive TECU-110 - 400 kV

La transformatoarele capacitive tip TECU-110 kV este posibilă prelevarea uleiului, fără utilizarea unui dispozitiv auxiliar (fig.3.1.2.).

Pentru prelevarea uleiului sînt necesare următoarele operații:

- se fixează scara necesară pentru electricianul care prelevează uleiul;
- se demontează șuruburile 1 și 2;

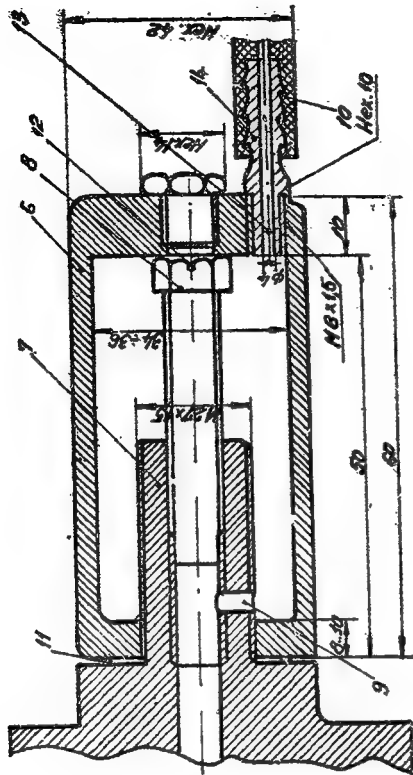
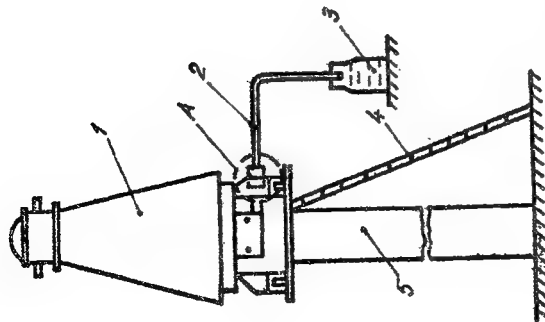


Fig. 3.1.1. Prelevarea uleiului de la transformatorul CESU-110 kV; cu ajutorul unui dispozitiv de prelevare auxiliar; 1 - transformatorul; 2 - dispozitivul de prelevare a uleiului; 3 - sticla; 4 - soara; 5 - suportul transformatorului; 6 - capacul hexagonal; 7 - bușonul de recoltare a uleiului; 8 - șurubul cu cap hexagonal; 9 - orificiul pentru scurgerea uleiului; 10 - furtunul din material plastic; 11 - garnitură; 12 - creștătura pentru șurubelniță; 13 - orificiul de scurgere a uleiului; 14 - ștuțul.

Notă. - reperele 7, 8, 9 sînt existente;

- creștătura 12 se va face pe loc;

- piesa 6 se va strînge pe garnitură, încît reperul 13 să fie în jos.

- se îndepărtează capacul 3;
- se șterg cu cârpa uscată bușonul și șurubul 4 (nu se va folosi bumbac);

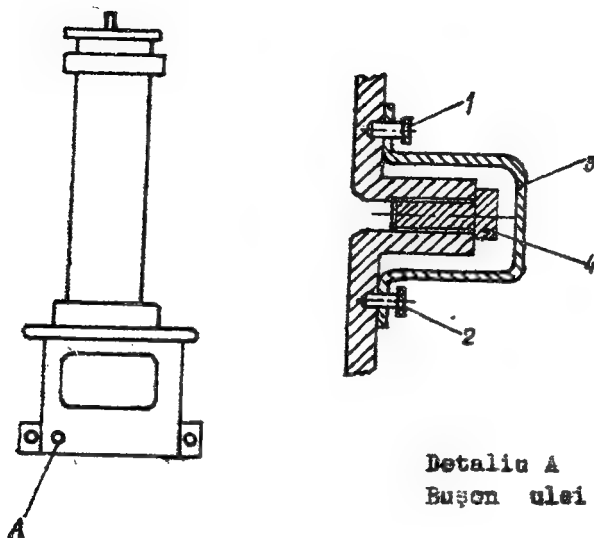


Fig.3.1.2. Prelevarea uleiului de la transformatoarele TECU - 110 - 400 kV; 1,2 - șuruburile; 3 - capacul; 4 - șurubul de prelevare a uleiului.

- se demontează bușonul de completare cu ulei de pe capacul cuvei, situat deasupra tubului eclator, pentru a permite pătrunderea aerului pe la partea superioară a cuvei, încât să fie posibilă scurgerea uleiului pe la bușonul aflat la partea inferioară;
- se demontează șurubul 4;
- se lasă să curgă cel puțin 2 l de ulei;
- se clătesc sticlele cu uleiul care se prelevează;
- se recoltează cantitatea de ulei necesară;
- se fixează dopul la sticlă și se asigură contra căderii;
- se strâng șurubul 4 și capacul 3;
- se completează uleiul din cuvă;
- se remontează bușonul de deasupra tubului eclator,

Probele de ulei se recoltează în sticle curate, de preferință de culoare închisă, cu capacitatea de 1 l., cu dop șlefuit (conform STAS 2336-60).

După prelevare, sticlele vor fi duse în timp cât mai scurt la laboratorul chimic sau electric, care va executa analizele.

Pentru o ușoară identificarea a probei, sticla de ulei va fi prevăzută cu următoarea etichetă, lipită pe sticlă sau fixată de gîtul sticlei cu sfoară sau cu sîrmă:

I.R.E.	Data recoltării
Stația	Prijelul recoltării
Celula	Transformatorul
Tipul trafo	- în funcțiune
Faza	- în rezervă
Seria	Numele celui care
Anul de fabricație	a recoltat proba

3.1.4. Măsurile specifice de protecție a muncii sînt:

- schema se va monta numai după scoaterea de sub tensiune a transformatorului, după separarea lui vizibilă de restul instalației și montarea scurtcircuitorului la borna de înaltă tensiune a transformatorului sau pe coridoarele de legătură primare;

- scara se va asigura, contra căderii, de către un alt membru al echipei;

- în timpul prelevării probei, în cazul transformatoarelor montate la o înălțime mai mare decît 3 m, electricianul care prelevează proba va fi asigurat contra căderii, prin utilizarea centurii de siguranță fixată de transformatorul de măsură respectiv.

NOTĂ.

La transformatoarele de tensiune inductive și capacitive se interzice prelevarea probelor de ulei cu transformatorul în funcțiune, din următoarele motive:

- nu se pot asigura distanțele de izolare prescrise prin "Normele de protecție a muncii", cap. V, între părțile sub tensiune și locul de muncă;

- în cazul în care transformatorul are înaintea de prelevare un nivel de ulei scăzut, este posibil ca în

timpul prelevării probei să se producă o amorsare în interiorul transformatorului, urmată de explozia transformatorului.

3.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor

3.2.1. Scopul probei

Măsurarea are drept scop determinarea modificărilor care intervin în izolația transformatoarelor de măsură, ca urmare a transportării, depozitării necorespunzătoare sau a solicitării ei în exploatare.

În curent continuu, ca orice dielectric industrial, izolația formată din hîrtie electrotehnică și ulei electroizolant are o rezistență de izolație finită, permițînd trecerea unui curent de conducție permanent, chiar după ce fenomenul de polarizare instantanee sau lentă a dielectricului s-a produs (curentul de absorbție prin dielectric a devenit nul).

În exploatare, în locul curentului care străbate dielectricul, se preferă măsurarea rezistenței în curent continuu, la o tensiune de măsură dată, care poartă numele de rezistență de izolație.

Scăderea rezistenței de izolație în exploatare poate datora următoarelor cauze:

- umezirea parțială sau totală, în timp, a izolației;
- impurificarea izolației interne a transformatoarelor de măsură cu produsele rezultate ca urmare a degradării uleiului electroizolant, în timp;
- existența unei căi conductoare, sub forma unui traseu carbonizat, al unei conturămări sau străpungeri.

3.2.2. Aparatura și metodologia de măsură

Măsurarea rezistenței de izolație la PIF și în exploatare se execută, în principal, cu următoarele aparate:

- megohmmetrul de 2500 V;
- aparatul pentru măsurarea rezistenței de izolație tip XS - 1 (Ganz).

A) Execuția măsurării cu megohmmetrul de 2500 V

Pentru măsurare se pot utiliza megohmmetrele cu manivelă, de 2500 V, de fabricație sovietică, de tip MS-05; MS-06 și MS-08.

Schema de principiu a megohmmetrului este dată în fig. 3.2.1.

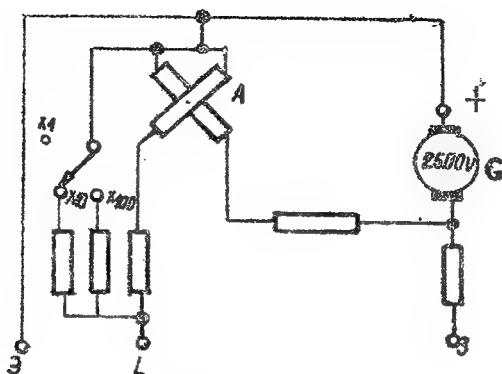


Fig.3.2.1. - Schema de principiu a megohmmetrului MS-06: G - generatorul de curent continuu cu manivela cu turația constantă de 120 rotații/minut; A - aparatul indicator, de tip logometru magnetoelectric, etalonat direct în megohmi; L - borna de linie a aparatului; z - borna de pământ; - borna ecran pentru devierea curenților de fugă adiționali.

Pentru conectarea megohmmetrului la transformatorul de măsură verificat, se utilizează cordonale proprii ale aparatului.

În cazul în care nu mai există cordonale originale, ele se pot confecționa din conductor de bujie VAL sau VAY. Cordonalele vor fi prevăzute cu papuci la ambele capete.

Pentru operativitate, măsurarea se poate efectua prin atingerea bornelor obiectului verificat. În acest caz, se pot utiliza testerii special confecționați, care se fixează la cordonalele de măsură. În fig. 3.2.2. este prezentat un astfel de tester.

Testerii se pot confecționa din bachelită, plexiglas, PVC, vinidur, duramid etc.

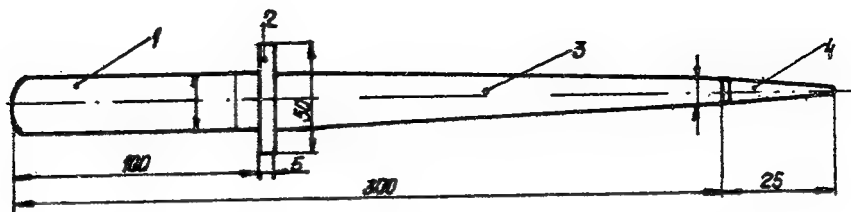


Fig. 3.2.2. Tester (ștangă) pentru măsurarea rezistenței de izolație: 1 - minierul izolant; 2 - opritorul; 3 - partea izolantă; 4 - vârful metalic asamblat prin înșurubare.

Schema principală de conectare a megohmmetrului la verificarea transformatorului de măsură verificat este dată în fig. 3.2.3.

B) Execuția măsurării cu aparatul pentru măsurarea rezistenței de izolație tip XS - I (Ganz)

Aparatul este un ohmmetru cu citire directă, care permite măsurarea intensității curentului la o tensiune continuă dată.

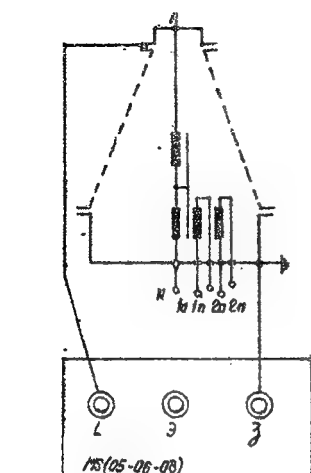
El se compune dintr-o sursă formată dintr-un redresor multiplicator de tensiune tranzistorizat care furnizează tensiunea de încercare stabilizată, și un circuit de măsură.

Aparatul poate furniza trei tensiuni de măsură a rezistenței de izolație: de 1000 V; 2500 V și 5000 V.

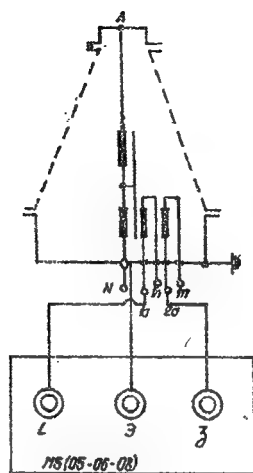
Una din schemele de conectare a aparatului pentru măsurarea rezistenței de izolație la transformatorul de măsură verificat este dată în fig. 3.2.4., celelalte scheme fiind similare celor din fig. 3.2.3.

3.2.3. Condițiile de execuție a probei sînt:

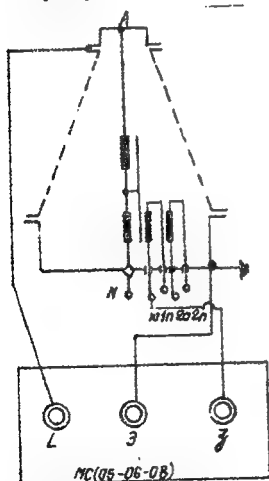
- măsurarea se execută numai după deconectarea tuturor legăturilor externe primare și secundare;
- megohmmetrul se plasează în imediata vecinătate a locului de montaj al transformatorului de măsură;
- măsurarea în conexiunea înaltă tensiune- cuvă (soclu metalic) se efectuează numai la transformatoarele la care capătul inferior al înfășurării de înaltă ten-



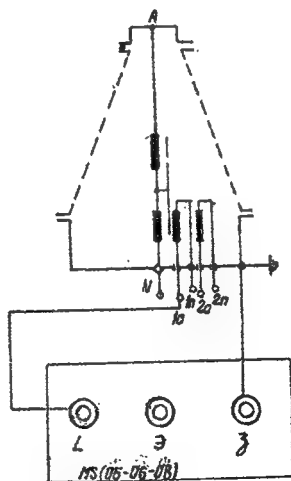
a) Între înfășurarea de înaltă tensiune și sacul (cuvă)



c) Între secundare



b) Între înfășurarea de înaltă tensiune și secundare



d) Între fiecare secundar și cuvă

Fig.3.2.3. Măsurarea rezistenței de izolație la transformatoarele de tensiune, cu megohmmetrul cu manivelă.

siune se poate izola, prin demontarea legăturii flexibile dintre borna la care este conectat acest capăt și borna de conectare la pământ. După efectuarea probei, se va reface obligatoriu această legătură (de exemplu: TEMU - 110 kV, modernizat);

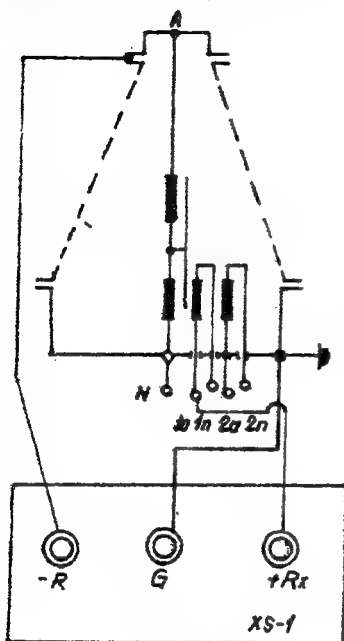


Fig.3.2.4. Măsurarea rezistenței de izolație la transformatoarele de tensiune, cu aparatul XS-1.

ECRAN a megohmmetrului.

În cazul măsurării unor rezistențe de izolație scăzute, legarea cuvei la borna „ecran” permite aducerea unor precizări în privința cauzei scăderii izolației, și anume, umezirea izolației interne, murdărirea sau umezirea bornelor secundare etc.;

- înainte de începerea măsurării, se verifică starea megohmmetrului, și anume, indicarea valorii "zero", la legarea în scurtcircuit a bornelor "linie" și "pământ" și indicarea valorii "infin", la funcționarea

- nu se poate efectua măsurarea, în această conexiune, la transformatoarele tip TIRM-6 - 35 kV și la transformatoarele TEMU-110 kV, nemodernizate;

- la transformatoarele TECU-110 - 400 kV se va efectua numai măsurarea între conexiunile secundare-cuvă și între secundare;

- megohmmetrul se va așeza, în timpul încercării, pe o platformă izolantă uscată;

- în timpul încercării, cordonalele se vor suspenda în aer, nu se vor atinge între ele și nici de alte obiecte aflate pe pământ;

- așa cum rezultă din fig.3.2.3.b și c, în cazul măsurării rezistenței de izolație între înfășurări, pentru reducerea erorilor datorită curenților de scurgere adiționali (curenți de fugă pe suprafața carcasi de porțelan, curenți de scurgere prin izolația înfășurărilor spre cuvă etc.) care pot șunta circuitul bobinei serie a aparatului, se recomandă conectarea cuvei metalice (soclului) a transformatorului la borna

în gol a megohmmetrului (cu bornele libere). În caz de necesitate, se reglează poziția zero a acului indicator;

- măsurarea constă în verificarea succesivă a rezistenței de izolație dintre fiecare înfășurare și soclul metalic (cuvă), precum și între înfășurări, utilizându-se, după caz, schemele din fig. 3.2.3.a, b, c sau d;

- în cazul în care unul din punctele între care se efectuează măsurarea este conectat rigid la pământ, acesta se va lega la borna "pământ" (3).

3.2.4. Interpretarea rezultatelor

Atât curentul de conducție, cât și rezistența de izolație a unui dielectric depind de dimensiunile lui geometrice. Din acest motiv, pentru compararea valorilor obținute la PIF și în exploatare, ar trebui normate valori limită nu numai pentru fiecare tip de transformator de măsură în parte, dar chiar și pentru fiecare schemă de măsură posibilă. Având în vedere aceste aspecte, valorile măsurate pentru rezistența de izolație nu se pot compara decât cu valori măsurate anterior pe același aparat sau pe aparate de același tip.

În interpretarea rezultatelor trebuie să se țină seama de temperatura transformatorului în momentul măsurării, știut fiind că rezistența de izolație scade relativ mult odată cu creșterea temperaturii. Din acest motiv, se recomandă efectuarea măsurătorilor la temperaturi cuprinse între 10 și 30°C.

3.2.5. Măsurări specifice de protecție a muncii

Întrucât tensiunea de încercare, în cazul măsurării rezistenței de izolație, este de 2,5 kV, se respectă normele de protecție a muncii, specifice la încercarea cu tensiune mărită.

După pregătirea aparatului pentru probe, se trece la execuția măsurării rezistenței de izolație, după metodologia de la pct. A.

3.3. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ($\tan \delta$) ale izolației principale

Conform notativului PE 116/80, proba se execută la transformatoarele de tensiune inductive de 110-220 kV cu izolație de hirtie - ulei. Întrucât aparatura exis-

tentă în cadrul întreprinderilor de exploatare nu permite realizarea unei scheme de măsuri adecvată pentru transformatoarele capacitive tip TECU - 110 - 400 kV, această probă, deși se execută la livrarea din fabrică, valcarea $\text{tg } \delta$ a izolației globale fiind trecută în buletin, nu se execută la PIF sau în exploatare.

Ca și la celelalte probe, care au drept scop stabilirea modificărilor intervenite în starea generală a izolației transformatorilor cu izolație de hirtie-ulei (rezistența de izolație și calitatea uleiului electroizolant), măsurarea $\text{tg } \delta$ are drept scop depistarea, în principal, a unei eventuale umeziri a izolației interne a transformatoarelor de măsură, în special în cazul transformatoarelor cu respirație liberă, la care uleiul electroizolant este în contact direct cu aerul atmosferic (transformatorul de tensiune TEMU - 110 kV, fabricat în trecut) sau prin intermediul unui filtru cu silicagel (transformatorul de tensiune TEMU - 110 kV modernizat, fabricat după 1974, sau transformatoarele TEMU - 110 kV, recondiționate în atelierele proprii).

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice, cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de factorul de pierderi dielectrice, este definită prin raportul dintre componenta activă și reactivă a curentului care străbate un material electroizolant:

$$\text{tg } \delta = \frac{I_a}{I_r}$$

În cazul hirtiei electroizolante impregnate cu ulei și umezită, componenta activă a curentului ce străbate izolația crește mult, conducând la o creștere proporțională a $\text{tg } \delta$.

Intrucât, în funcție de condițiile ambiante și de încărcarea transformatorului, mediul cel mai umed poate fi izolația de hirtie sau uleiul electroizolant, este necesar ca toate probele care vizează umezirea transformatorului, și anume: rezistența de izolație, prelevarea uleiului pentru verificarea rigidității dielectrice, măsurarea $\text{tg } \delta$ să se facă asociat.

La echipamentele cu izolația internă formată din hirtie electroizolantă impregnată cu ulei, $\text{tg } \delta$ pune în evidență, în egală măsură, modificările intervenite ca urmare a îmbătrânirii termice a hirtiei electroizo-

lante. În cazul transformatoarelor de măsură și, în special, al transformatoarelor de tensiune, la care supraîncălzirea, datorită curentului de sarcină, este foarte scăzută, principalul factor care influențează tg δ în exploatare este umiditatea.

Un alt factor care influențează în mare măsură factorul global de pierderi dielectrice ale transformatoarelor de măsură este calitatea uleiului electroizolant cu care acestea sînt umplute, ca urmare a oxidării lui, în prezența oxigenului, sau a umezirii lui peste anumite limite, în prezența umidității ambiante.

Din acest motiv, analiza rezultatelor verificărilor de izolație trebuie făcută pe ansamblul probelor nedistructive.

3.3.1. Scheme care permit măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele de tensiune inductive TEMU - 110 kV

Spre deosebire de alte echipamente la care măsurarea tg δ se poate executa într-o conexiune normală, în cazul transformatoarelor TEMU - 110 kV această măsurare este foarte dificilă, din cauza particularităților constructive ale transformatorului, și anume:

- izolația degresivă a înfășurării de înaltă tensiune, care nu permite scurtcircuitarea înfășurării respective și punerea ei sub tensiune înaltă;

- legarea capătului, cu izolația degresivă, al înfășurării de înaltă tensiune direct la cuvă (în cazul transformatorului TEMU - 110 kV, de tip vechi), fără posibilitatea separării lui pentru măsurări;

- valorile foarte scăzute ale capacităților dintre înfășurarea de înaltă tensiune și înfășurările de joasă tensiune (de ordinul 5-15 pF) ieșind din domeniul de măsură al punților obișnuite (MD-16, R-595 etc.).

În ceea ce privește cel de-al doilea dezavantaj, el a fost parțial corectat în cazul transformatorului TEMU - 110 kV modernizat, în prezent, la acest tip de transformator, capătul cu izolație degresivă al înfășurării de înaltă tensiune fiind adus la o bornă specială N, izolată față de cuvă, pentru o tensiune de încercare de 2 kV - 1 min, fără însă a se izola soclul față de pământ.

a) Scheme care permit măsurarea tg δ la transformatoarele cu izolație degresivă (fig. 3.3.1.)

În literatura de specialitate s-a demonstrat că, în cazul transformatoarelor de tensiune cu izolație de-

gresivă, pentru măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ nu se poate aplica decât o schemă de măsură, cu transformatorul de verificat excitat magnetic în condiții normale de cîmp. Schema se încadrează în categoria schemelor „aproape fără erori”, fiind utilizată și la alte echipamente, pentru măsurări de laborator sau pe teren. Deși în cazul utilizării schemei cu transformatorul de măsură excitat magnetic capacitatea de verificat este conectată în paralel cu impedanța de mers în gol a transformatorului, ambele fiind în serie cu impedanța de dispersie a transformatorului, erorile la măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ pot fi considerate neglijabile. Astfel, pentru valori uzuale ale impedanței de mers în gol și de dispersie ale transformatoarelor de tensiune inductive, erorile la măsurare a $\operatorname{tg} \delta$ sînt aproximativ de următorul ordin de mărime:

$\operatorname{tg} \delta$ real	$\operatorname{tg} \delta$ măsurat	$\varepsilon, \%$
0,005	0,00484	- 3,2 %
0,050	0,04986	- 0,18 %

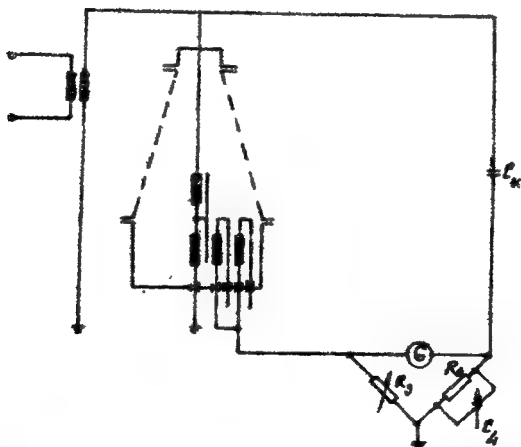


Fig. 3.3.1. Măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ la transformatorul de tensiune excitat magnetic, în condiții normale de cîmp.

Erroarea de măsură este de același ordin de mărime atît în cazul măsurării $\text{tg } \delta$ a izolației dintre înfășurarea de înaltă tensiune și înfășurarea de joasă tensiune, cît și în cazul izolației dintre înfășurarea de înaltă tensiune și cuvă.

Dintre factorii care conduc, totuși, la mărirea erorii de măsură fac parte:

- poluarea suprafeței exterioare a carcasei de porțelan;

- murdărirea sau umezirea bornelor secundare.

În ceea ce privește poluarea suprafeței exterioare a carcasei de porțelan, aceasta se face simțită mai ales în cazul măsurării $\text{tg } \delta$, după schema: înfășurarea de i.t. - cuvă (înfășurarea de j.t. la pămînt), cînd rezistența stratului poluant (R_p) și capacitatea sa (C_p) sînt în paralel cu capacitatea de măsurat (C_x) (fig. 3.3.2.).

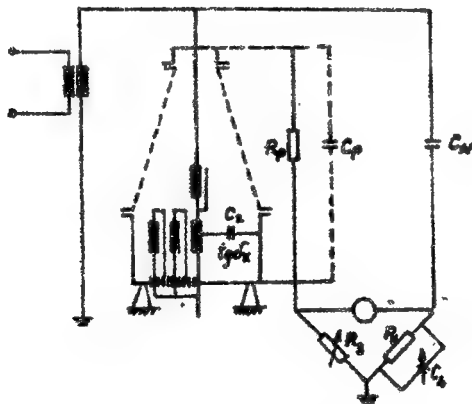


Fig.3.3.2. Influența stratului de depuneri pe suprafața porțelanului, în cazul măsurării $\text{tg } \delta$.

Pentru evitarea erorilor, care pot fi apreciate, este necesar ca, înainte de efectuarea măsurării $\text{tg } \delta$, să se curețe suprafața izolatorului de porțelan.

Starea bornelor înfășurării de joasă tensiune are influență în special în cazul măsurării $\text{tg } \delta$ după schema: înfășurarea de i.t. - secundar 1 + secundar 2, cîva la pămînt (fig.3.3.3.).

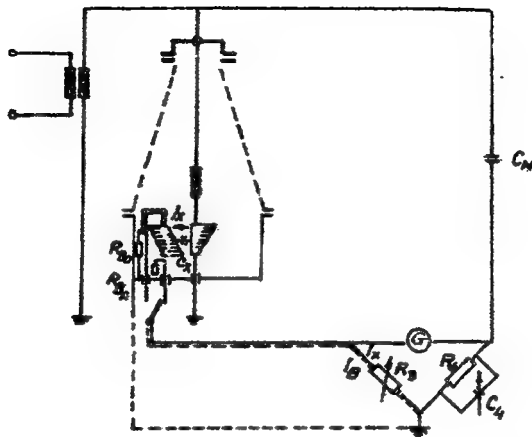


Fig.3.3.3. Influența stării bornelor înfășurării de joasă tensiune.

La transformatoarele de tensiune excitate magnetic distribuția tensiunii pe înfășurările de înaltă și joasă tensiune este ca în figura 3.3.3. În cazul aducerii la punte a legăturii de la borna "x", borna "a" se găsește sub potențialul maxim, ceea ce permite trecerea prin rezistența de izolație a bornei "a" (R_{Ba}) a curentului I_B . Acest curent se adaugă la curentul care trece prin capacitatea C_x măsurată, denaturând măsurarea într-o oarecare măsură. Din calculele efectuate, rezultă că în cazul unei rezistențe R_{Ba} de minimum 30 M Ω eroarea; în ceea ce privește $\tan \delta$ măsurată, este mai mică de $\pm 10 \cdot 10^{-3}$. Totuși, pentru a se preveni erorile posibile în cazul măsurării cu această schemă, este necesar să se ia următoarele măsuri:

- curățarea și uscarea bornelor de joasă tensiune;
- executarea măsurării în două variante, și anume: aducînd mai întîi borna "a" la punte și executînd o a doua măsurare cu borna "n" la punte. În cel de-al doilea

caz, curentul I_B avînd sensul schimbat, valoarea $\text{tg } \mathcal{J}$ reală va fi dată de expresia:

$$\text{tg } \mathcal{J}_{\text{reală}} = \frac{\text{tg } \mathcal{J}_I + \text{tg } \mathcal{J}_{II}}{2}$$

mici b) Scheme care permit măsurarea unor capacități

Avînd în vedere că transformatoarele TEMU - 110 kV au capacități mici atît între înfășurarea de înaltă tensiune și înfășurările de joasă tensiune, cît și între înfășurarea de înaltă tensiune și cîvă, acestea ies din domeniul de măsură al punților obișnuite (la puntea R - 595 și MD - 16 limita inferioară pentru măsurarea lui C_x este de 16,6 pF). O schemă care permite extinderea domeniului de măsurare în cazul capacităților mici este schema cu rezistențele R_3 și R_4 ale punții inversate (fig.3.3.4.). În acest caz, rezistența R_3 reglabilă este în paralel cu condensatorul variabil C_4 . La echilibru, se obțin următoarele valori pentru C_x și $\text{tg } \mathcal{J}$:

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_3}{R_4},$$

$$\text{tg } \mathcal{J} = (R_3 + 1) \cdot \omega C_4 = 314 (R_3 + 1) C_4,$$

în care:

R_3 este dat în ohmi, iar C_4 , în farazi.

Cum decadele condensatorului variabil C_4 sînt graduate direct în $\text{tg } \mathcal{J}$, %, pentru obținerea capacității în farazi, se vor face următoarele transformări:

Decada I $\text{tg } \mathcal{J} = 10 \dots 60\%$, $C_4 = (0,1 \dots 0,6) \cdot 10^{-6}$ F;

Decada II $\text{tg } \mathcal{J} = 1 \dots 10\%$, $C_4 = (0,01 \dots 0,1) \cdot 10^{-6}$ F;

Decada III $\text{tg } \mathcal{J} = 0,1 \dots 1 \%$, $C_4 = (0,001 \dots 0,01) \cdot 10^{-6}$ F.

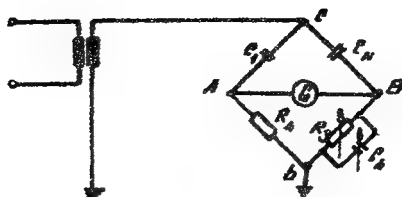


Fig. 3.3.4. Schema punții cu rezistențele R_3 și R_4 inversate.

Această schemă este dată ca schemă obișnuită de lucru pentru unele punți, însă experimentările comparative efectuate prin modificarea punților obișnuite, existente în unitățile de exploatare, au arătat că nu se introduc erori suplimentare prea mari, în cazul utilizării acestei scheme de măsură.

c) Conexiunea transformatorului de măsurat

Pentru verificarea transformatoarelor de tensiune TEMU - 110 kV se poate adopta o schemă pentru măsurarea $\text{tg } \delta$, parțială sau globală, în funcție de scopul urmărit (stabilirea gradului de umezire a izolației de hîrtie a uleiului sau indicații globale asupra stării izolației transformatorului).

Schemele de măsură posibile sînt date în fig. 3.3.5.

În fig. 3.3.5.a. este dată schema de măsură a $\text{tg } \delta$ între înfășurarea de înaltă tensiune și primul secundar (borna a), utilizată de către fabrica LEEC la verificarea $\text{tg } \delta$ la transformatoarele TEMU - 110 kV. În buletinul de fabrică este indicată valoarea $\text{tg } \delta$ pentru această conexiune, măsurată la 60 kV. Deoarece capacitatea măsurată în acest caz este foarte mică (4-7 pF), în exploatare se recomandă utilizarea schemei de măsură 3.3.5.b cu ambele secundare racordate la pct. A al punții, caz în care valoarea capacității măsurate este mai mare. Pentru eliminarea erorilor datorate stării bornelor, se recomandă executarea a două măsurări:

I. înfășurarea de i.t. - sec 1 (a_1) + sec 2 (a_2),

II. înfășurarea de i.t. - sec 1 (n_1) + sec 2 (n_2),

$\text{tg } \delta$ real fiind media aritmetică a celor două determinări.

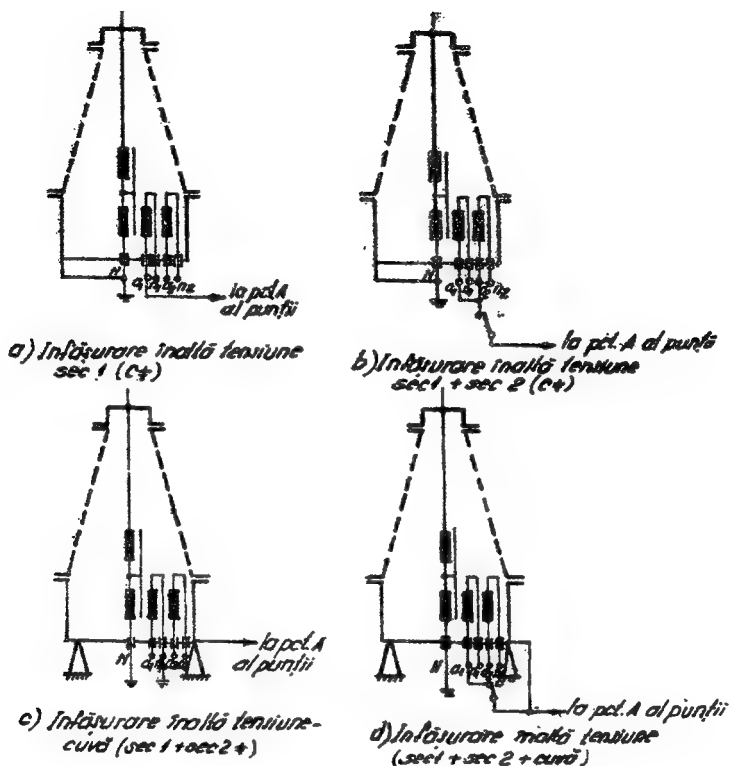


Fig. 3.3.5. Conexiunea transformatorului pentru măsurarea $\text{tg } \delta$.

În ceea ce privește schema 3.3.5.c., nu este cazul să fie folosită în exploatare, indicații mai bune asupra stării uleiului putînd da măsurarea separată a $\text{tg } \delta$ a uleiului.

Schema de la fig.3.3.5.d., care oferă sensibilitatea cea mai mare, reprezentînd o măsurare globală și care s-ar putea executa și într-o schemă normală a punții MD-16 sau R-595, nu se poate aplica în exploatare, transformatorul neavînd cuva izolată față de pămînt.

Măsurarea este posibilă ca probă suplimentară în Atelierele de reparații transformatoare, pentru montarea transformatorului fiind necesară o izolare pentru 2kV-1 min (10 MΩ).

Pentru măsurarea în exploatare, se recomandă ca la punerea în funcțiune să se execute măsurarea după schemele 3.3.5.a și 3.3.5.b, urmînd ca la verificările preventive ulterioare să se execute măsurarea numai după schemele 3.3.5.b.

În privința influențelor datorate cîmpurilor exterioare, schema se comportă ca orice schemă normală, influențele fiind mai mici decît în cazul măsurării transformatoarelor de curent cu schema punții inversate.

Totuși, acolo unde există părți ale instalației sub înaltă tensiune la distanțe mai mici de 6-8 m față de obiectul încercat sau atunci cînd nu se poate obține o echilibrare completă a punții, este necesar să se ia măsuri de reducere a influențelor, și anume:

- schimbarea sensului cîruntului de alimentare a schemei (schimbarea fazei cu nulul);
- schimbarea polarității indicatorului de nul.

În acest caz, fiecare din determinări pentru conexiunile:

i.t. - $a_1 + a_2$ (soclu la pămînt) și

i.t. - $n_1 + n_2$ (soclu la pămînt),

va fi media a patru valori calculate cu formulele de la pct.b.

În cazul în care aceste soluții nu sînt suficiente, obținîndu-se în continuare valori disparate pentru R_3 și G_4 , se va trece la schimbarea fazei tensiunii de alimentare, la rotirea sau mutarea punții și, ca o ultimă măsură, la deconectarea circuitului care provoacă perturbațiile.

3.3.3. Condițiile în care se execută măsurarea

Condițiile în care se execută măsurarea $\tan \delta$ la transformatoarele de măsură sînt date în normativul PE 116/80.

Față de acestea, trebuie făcute în plus următoarele precizări:

a. măsurarea se execută numai după ce toate legăturile exterioare la transformatorul ce urmează a fi verificat, atît pe partea primară, cît și pe cea secundară, au fost îndepărtate;

b. măsurarea se execută numai pe timp frumos și uscat (temperatura ambiantă mai mare de 10°C și umiditatea sub 80 %), în caz contrar, rezultatele putînd fi eronate datorită umezirii bornelor secundare sau a carcasi de porțelan.

În timpul probei este necesar ca temperatura uleiului din transformator să fie cuprinsă între 10 și 30°C , valori limită prevăzute în normativ. Măsurarea exactă a temperaturii uleiului nu este necesară, ea putînd fi apreciată în funcție de următorii factori:

- temperatura ambiantă;
- timpul scurs de la deconectarea celei pînă la execuția probei. Trebuie menționat că, în cazul transformatoarelor de tensiune, supratemperatura datorată sarcinii transformatorului este relativ mică, măsurătorile putînd fi începute, practic, imediat după deconectare.

Nu se pot executa măsurători pe timp de burniță, ceață, rouă, brumă etc.;

c. înainte de începerea măsurării, se curăță suprafața carcasi de porțelan, de preferință cu alcool, și se șterg bornele de joasă tensiune, pînă la uscarea lor completă ;

d. în mod normal, măsurarea t_g trebuie făcută la tensiunea nominală a transformatorului, aceasta fiind, de obicei, tensiunea la care se fac determinările și în fabrică.

În lipsa unor condensatoare etalon, transportabile pentru această tensiune, măsurarea în exploatare se va face la tensiunea de 10 kV , pentru transformatoarele de măsură de 110 kV .

La atelierele de transformatoare, care pot fi dotate cu condensatoare etalon de înaltă tensiune, este necesar ca măsurarea să se execute la 10 kV și la tensiunea nominală a obiectului încercat;

e. toate obiectele sau aparatele aflate în apropierea transformatorului ce urmează a fi verificat, inclusiv cordonale de legătură deconectate se pun la pămînt.

3.3.4. Execuția măsurării

Avînd în vedere capacitatea redusă a obiectului măsurat, pentru verificarea acestor transformatoare este necesar să se utilizeze punți pentru măsurarea t_g ,

cu un domeniu extins pentru capacități mici, foarte bine ecranate, astfel încât influența capacităților parazite să fie cât mai redusă. În lipsa acestora, se pot utiliza punțile de teren obișnuite, care, prin mici modificări sau artificii, pot permite verificarea transformatoarelor de tensiune de acest tip, la o tensiune de măsură de 10 kV, cu o eroare care nu depășește 20 %.

Pentru alimentarea schemei se utilizează un montaj similar cu cel utilizat pentru încercarea cu tensiune aplicată a înfășurării de înaltă tensiune, indicat în fig.3.3.6., în care:

- S este heblul bipolar de 10 A - 220 V, pentru inversarea sensului tensiunii de alimentare;
- P - siguranțele fuzibile de 10 A - 220 V;
- I - întreruptorul automat ISOL-100. 16 A-220 V;
- ATR - transformatorul reglabil
ATR - 8 : 8 A - 220/0 ... 220 V;
- TIT - transformatorul de alimentare cu înaltă tensiune:
NOM - 10; 10000/100 V - 500 VA (URSS) sau
TAD - 10; 10000V-10 kVA (ICKMENERG) sau
TEBU -20 kV; 20000/100 V (I.E.P.C.).

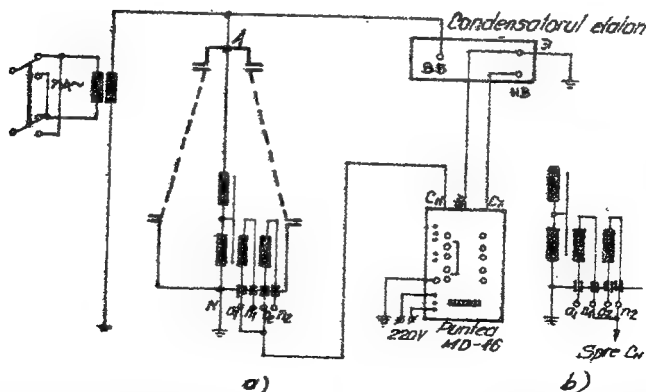


Fig.3.3.6. Măsurarea $\text{tg } \delta$ la transformatoarele de tensiune TEMU - 110 kV de tip vechi, folosind puntea MD - 16 în schemă cu rezistențele R_3 și R_4 inversate.

a. Măsurarea $\text{tg } \delta$ cu puntea MD-16

Pentru măsurare se utilizează puntea MD-16 și condensatorul de 50 pF - 10 kV.

Pregătirea transformatorului pentru măsurarea $\text{tg } \delta$ constă în:

- dezlegarea cordonelor de legătură de la borna primară a transformatorului;
- desfacerea legăturilor pe partea secundară;
- legarea începutului primei înfășurări secundare (a_1) cu începutul celei de a doua înfășurări secundare (a_2), bornele n_1 și n_2 fiind libere.

Pentru măsură se realizează schema cu rezistențele R_3 și R_4 inversate (vezi fig. 3.3.4.), folosind următorul artificiu de montaj (fig. 3.3.6.a.):

- se leagă cordonul notat cu C_N la obiectul măsurat, iar cordonul notat cu C_x , la condensatorul etalon (borna HB);

- comutatorul $\text{tg } \delta$ se așază pe poziția $\text{tg } \delta$
- se fixează șuntul N pe poziția o,ol.

După echilibrarea punții, se determină prin calcul $\text{tg } \delta_I$ și C_{xI} , folosind formulele:

$$\text{tg } \delta_I = (R_3 + 1) \omega C_{4I} \text{ și}$$

$$C_{xI} = C_N \cdot \frac{R_3}{R_4}.$$

Se modifică conexiunea secundarelor transformatorului ca în figura 3.3.6.b. (n_1 și n_2 legate împreună și la punte, a_1 și a_2 libere) și se echilibrează din nou puntea, determinându-se $\text{tg } \delta_{II}$ și C_{x2} . $\text{Tg } \delta$ real va fi dat de formula:

$$\text{tg } \delta_{\text{real}} = \frac{\text{tg } \delta_I + \text{tg } \delta_{II}}{2}.$$

b. Măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ cu puntea R - 595

Pentru măsurare se utilizează puntea R-595 și condensatorul ei etalon de 50 pF-10 kV. Transformatorul de verificat se pregătește ca la pct. a, iar pentru realizarea schemei de măsură cu brațele R_3 și R_4 inversate se utilizează același artificiu ca în cazul punții MD-16 (schema de montaj este dată în fig. 3.3.7.).

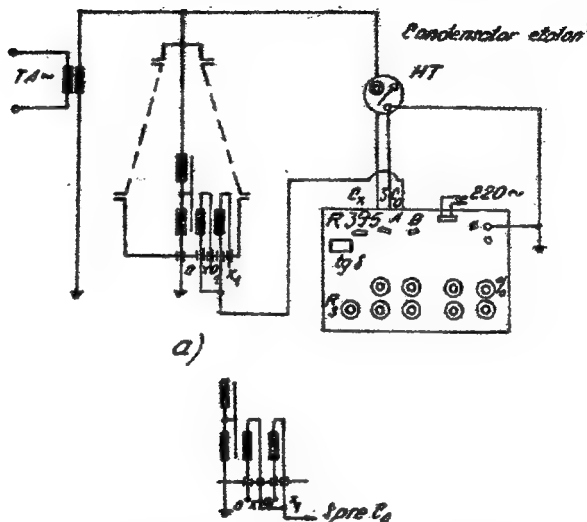


Fig.3.3.7. Măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ la transformatoarele de tensiune TEMU-110 kV, de tip vechi, folosind puntea R - 595, în schema cu rezistențele R_3 și R_4 inversate.

- Se leagă cordorul notat cu C_n la obiectul măsurat, iar cordorul notat cu C_x , la condensatorul etalon (borna H π)
- tg δ - Se pune comutatorul A pentru $\operatorname{tg} \delta$ pe poziția $\operatorname{tg} \delta$, prin aceasta punând în paralel condensatorul C_4 cu rezistența R_3 .
- Se fixează comutatorul B pe primul domeniu; $(3 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3} \mu F)$. $\operatorname{tg} \delta_{\text{real}}$ este media aritmetică a celor două determinări, după schema de la fig.3.3.7.a și b, calculate tot cu formulele de la pct. a.

3.3.5. Măsurarea tg δ la transformatoarele de tensiune TEMU - 110 kV modernizate

a. Schema de măsură cu cuva transformatorului pusă la pământ

În cazul măsurării transformatorului TEMU - 110 kV modernizat din instalații, după schemele:

Inf. f.t. - sec 1 (cuvă la pământ),

Inf. f.t. - sec 1 + sec 2 (cuvă la pământ),

nu există nici o diferență față de măsurătorile efectuate pentru transformatorul TEMU-110 kV de tip vechi, putându-se utiliza schemele indicate la pct. 3.3.4 a și b, 3.3.6. și 3.3.7.

b. Transformatoarele montate izolat

În cazul utilizării punții MD - 16 și R - 595 se vor utiliza aceleași scheme de măsură ca la pct. 3.3.4a și 3.3.4.b și ca în fig. 3.3.6. și 3.3.7., conexiunea obiectului măsurat fiind cea din fig. 3.3.5.c. Valoarea reală a tg δ este media celor două măsurări, aducând la puncte mai întii bornele la + 2a și, după aceea, bornele în + 2n.

Schema poate fi realizată în atelierele de reparație, ca o verificare suplimentară.

3.3.6. Măsurî suplimentare de protecție a muncii

Pentru execuția probei se vor respecta condițiile prevăzute în "Normele de protecție a muncii pentru instalații electrice" și condițiile specifice suplimentare, pentru verificări cu înaltă tensiune, prevăzute la pct. 2.4. și 3.5. din prezentele instrucțiuni.

3.4. Încercarea izolației înfășurărilor secundare cu tensiune alternativă mărită

3.4.1. Scopul probei

Încercarea izolației înfășurărilor secundare se execută cu scopul de a se determina integritatea izolației înfășurărilor secundare față de părțile legate la pământ ale transformatorului sau față de alte înfășurări secundare.

Această probă pune în evidență slăbirea, ca urmare a îmbătrânirii, sau degradarea sub acțiunea condițiilor

de mediu (umeziri, depuneri de praf) a izolației înfășurărilor secundare față de masă sau față de altă înfășurare secundară.

3.4.2. Aparatura necesară, scheme de încercare și modul de execuție a încercării

Încercarea poate fi efectuată atât cu aparatură special destinată acestui scop, cât și cu ajutorul unui montaj realizat din piese separate.

Din aparatura specială pentru astfel de încercări face parte trusa de tensiune de 2 kV - ICEMENERG.

a) Schema de încercare și modul de execuție a probei, în cazul utilizării trusei de 2 kV, fabricată de ICEMENERG

Schema de încercare este dată în fig. 3.4.1.

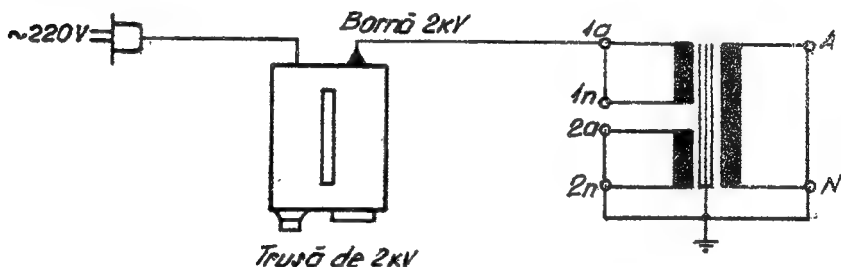


Fig.3.4.1. Încercarea înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatoarelor de măsură cu trusa de 2 kV fabricată de ICEMENERG.

În vederea încercării, se desfac legăturile la transformatorul ce urmează a fi încercat, atât pe partea primară, cât și pe partea secundară, numai după ce conductoarele de legătură au fost marcate conform pct.2.1.

Înfășurarea ce urmează a se încerca se scurtcircuită și se leagă la borna de 2 kV a trusei.

Restul înfășurărilor secundare și înfășurarea primară se scurtcircuită și, împreună cu cuva (soclul) transformatorului, se leagă la pământ.

Se verifică încă o dată montajul realizat conform schemei din fig. 3.4.1.

Se îndepărtează din apropierea legăturii de înaltă tensiune și a bornelor înfășurării de încercat toate obiectele metalice aflate la o distanță mai mică de 15 cm.

Se scoate personalul din zona de lucru și se îngădesc utilajele ce se vor găsi sub înaltă tensiune în timpul încercării.

Se racordează trusa la rețea, verificând ca butonul de reglaj al tensiunii să se găsească pe poziția zero.

Se apasă butonul siguranței automate și se crește tensiunea până la valoarea prescrisă în normativul PE 116/80.

După scurgerea timpului de încercare, se coboară lent tensiunea și se deconectează trusa de la rețea.

După montarea ștăngii de punere la pământ pe borna de 2 kV a trusei, se trece, după caz, la schimbarea înfășurării secundare (în cazul transformatoarelor cu 2-3 înfășurări secundare) sau a transformatorului încercat de pe faza vecină.

În cazul apariției unei străpungeri sau contur-nări în timpul probei, protecția trusei deconectează sursa de înaltă tensiune și se aduce autotransformatorul reglabil al sursei pe poziția zero.

b) Schema de încercare și modul de execuție a probei, în cazul utilizării montajului din piese separate

Pentru încercare se realizează montajul din fig. 3.4.2.

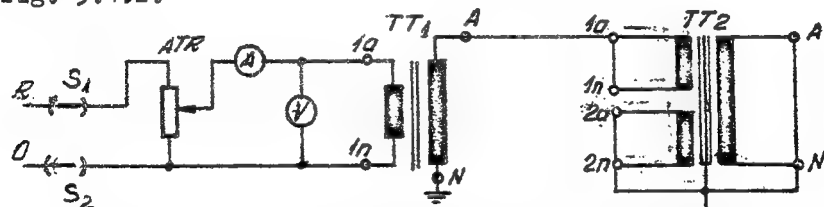


Fig. 3.4.2. Încercarea înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatoarelor de măsură, în cazul utilizării montajului din piese separate: S_1 , S_2 - siguranțele fuzibile sau automate de 6-220 V; ATR - autotransformatorul reglabil de 8 A-220/0 ... 220 V; A - ampermetrul de c.a. de 5 A; V - voltmetrul sau aparatul universal de 0-220 V; TT_1 - transformatorul ridicător (transformatorul de tensiune TAD-2 etc.) de 2 kV, minimum 0,05 A; TT_2 - transformatorul de tensiune încercat.

La realizarea montajului se va avea în vedere ca distanța dintre partea de alimentare, transformatorul ridicător TT_1 și transformatorul încercat TT_2 să fie de 1,5 + 2 m.

Se verifică încă o dată montajul realizat conform fig. 3.4.2., în special legăturile la pământ.

Se îngrădește zona în care sînt amplasate transformatoarele.

Se îndepărtează personalul de lucru din zona îngrădită.

Se verifică poziția de zero a autotransformatorului reglabil.

Se alimentează montajul de la rețea.

Se crește tensiunea pînă la valoarea prescrisă în normativul PE 116/80, cap.7.4.

După scurgerea timpului de încercare, se coboară lent tensiunea și se deconectează montajul de la rețea.

3.4.3. Interpretarea rezultatelor probelor

În timpul probelor nu trebuie să apară străpungeri sau conturnări exterioare sau interioare.

Transformatoarele la care nu apar fenomenele de mai sus se consideră corespunzătoare și pot rămîne în instalație.

Transformatoarele la care apar fenomenele de mai sus vor fi declarate necorespunzătoare, urmînd să fie înlocuite,

3.4.4. Măsurile specifice de protecție a muncii

La executarea lucrărilor de încercare se vor respecta prevederile cuprinse în "Normele de protecție a muncii pentru instalații electrice".

În afară de cele de mai sus, se vor respecta măsurile de protecție specifice încercării cu înaltă tensiune, prevăzute la pct.2.4. și, în special, următoarele măsuri: după efectuarea încercării și scoaterea instalației de încercat de sub tensiune pe borna de înaltă tensiune a acesteia, se va amplasa o ștangă mobilă legată la pământ; numai după aceasta se va putea trece la desfășurarea legăturilor dintre borna de înaltă tensiune a instalației de încercare și bornele înfășurării care a fost încercată sau se trece la schimbarea înfășurării secundare încercate.

NOTĂ.

Schemele de încercare prezentate mai sus și măsurile de protecție indicate sînt aplicabile atît transformatoarelor de măsură inductive, cît și transformatoarelor de măsură capacitive.

3.5. Încercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită

3.5.1. Scopul probei

Prin această probă se încearcă partea de înaltă tensiune (inductivă sau capacitivă, în funcție de tipul constructiv) a transformatoarelor de măsură de tensiune.

La transformatoarele inductive cu sau fără izolație degresivă, prin această probă se verifică izolația exterioară a înfășurării primare față de soclu și izolația dintre spirele înfășurării primare.

La transformatoarele capacitive, prin această probă se verifică izolația externă a condensatorului de înaltă tensiune, izolația dintre pachetele de condensatoare și fiecare condensator unitar în parte, care intră în componența condensatorului de înaltă tensiune.

De asemenea, cu această probă se verifică izolația față de masă și între spire a transformatorului de 20 kV inclus în partea inferioară a transformatorului capacitiv de tensiune.

Această încercare pune în evidență puncte slabe sau deteriorări locale ale izolației părții de înaltă tensiune a transformatoarelor de tensiune inductive și capacitive.

Încercarea cu tensiunea mărită a părții de înaltă tensiune a transformatoarelor de măsură de tensiune este normată atît în STAS 4323/70, "Transformatoare de tensiune, condiții generale", pct. 2.3.8., cît și în PE 116/1980, "Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice".

Avînd în vedere diversitatea de tipuri constructive de transformatoare de măsură existente în instalații, în capitolele următoare se va trata modul de încercare, separat pentru fiecare tip constructiv în parte.

3.5.2. Aparatura necesară, scheme de încercare

Aparatura necesară încercărilor și schemele de încercare se vor trata pentru fiecare tip constructiv de transformatoare inductive în parte.

Transformatorul de măsură capacitiv nu poate fi încercat integral în condiții de exploatare. El poate fi încercat pe piese componente separate numai în atelierele de reparații.

3.5.2.1. Aparatura necesară

a) Transformatoare de tensiune inductive monopolare

Încercarea transformatoarelor inductive de tensiune monopolare cu tensiuni de 6 - 110 kV se face cu tensiune indusă, frecvență mărită, de 150 Hz.

Pentru încercare, se utilizează Grupul de frecvență de 150 Hz, de fabricație ICEMENERG.

Transformatoarele inductive de tensiune cu tensiuni mai mari de 110 kV nu pot fi încercate în exploatare, ci numai în atelierele de transformatoare, care posedă grupuri cu frecvență mărită de circa 6 - 8 kVA.

Cu Grupul cu frecvență de 150 Hz, de fabricație ICEMENERG, la transformatoarele inductive monopolare se încearcă atât izolația dintre spire, cât și izolația externă.

b) Transformatoare de tensiune inductive bipolare

Pentru încercarea izolației externe a acestora se folosește laboratorul mobil LM3, iar pentru încercarea izolației dintre spire se folosește Grupul cu frecvență de 150 Hz.

c) Transformatoarele de tensiune capacitive nu pot fi încercate în exploatare la locul de montaj, ci numai în atelierele de reparații, sub formă de părți componente.

Pentru încercarea părților componente ale transformatorului de tensiune capacitiv sînt necesare următoarele instalații:

- pentru încercarea capacităților părții de înaltă tensiune este necesară o instalație de înaltă tensiune de frecvență industrială, capabilă să producă o tensiune de cel puțin 250 kV și să debiteze un curent de minimum 0,5 A;

- pentru încercarea părții inductive și a circuitului antiferorezonant se utilizează un grup cu frecvență de 150 Hz.

3.5.2.2. Scheme de încercare

a) Scheme pentru încercarea transformatoarelor de tensiune monopolară

Pentru efectuarea încercării se realizează schema din fig.1, în care A 1, A 2, A 3, A 4 sînt cordonalele din dotarea grupului cu frecvența de 150 Hz.

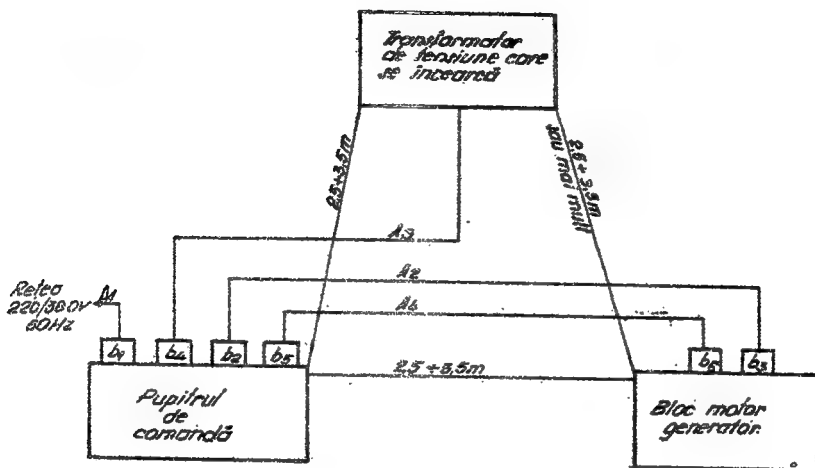


Fig.1. Schema de amplasare a Grupului cu frecvența de 150 Hz, la încercarea transformatoarelor de tensiune inductive.

Modul de racordare a cordonului A3' la bornele înfășurării, pe care se aplică tensiunea de 150 Hz, este arătat în fig. 2.

Pentru încercare, grupul va debita pe înfășurarea cu puterea cea mai mare a transformatorului, și anume, pe înfășurarea destinată să alimenteze circuitele de protecție.

b) Scheme pentru încercarea transformatoarelor de tensiune bipolare

Pentru încercarea transformatoarelor de tensiune bipolare se utilizează laboratorul mobil LM3, de fabricație ICENENERG.

În vederea încercării, se așază comutatorul de alegere CA de pe pupitrul laboratorului pe poziția ÎNCERCARE UIT alternativă, se realizează legătura la pă-

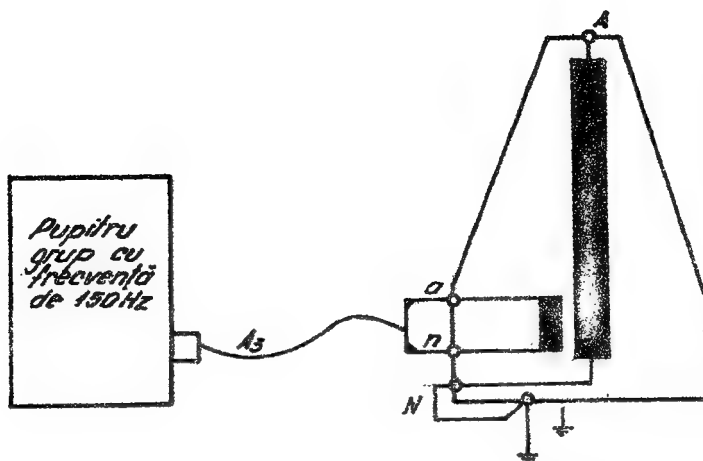


Fig.2. Modul de racordare la grupul de 150 Hz a transformatoarelor de tensiune monopolară.

mînt a laboratorului , iar în interiorul compartimentului de înaltă tensiune se realizează legătura între borna de înaltă tensiune a transformatorului de 70 kV, borna separatorului de punere la pămînt și borna izolatorului de trecere, montat în geamul laboratorului.

De la izolatorul de trecere din geamul izolatorului se racordează firul de înaltă tensiune la transformatorul a cărui izolație se încearcă, așa cum este arătat în fig. 3.

Bornele înfășurării secundare se leagă între ele și la pămînt.

Cu schema de încercare prezentată mai sus se încearcă numai izolația transformatorului față de masă.

Pentru încercarea izolației dintre spirele înfășurării primare, se va utiliza grupul cu frecvență de 150 Hz. Pentru aceasta se va realiza schema de încercare prezentată în fig.4, în care A3 este cablul de legătură aflat în dotarea grupului.

Din fig.4 se observă că, în același timp cu încercarea izolației dintre spire, se încearcă și izolația externă a bornei A.

Astfel, efectuînd două încercări cu grupul cu frecvență de 150 Hz, la o încercare legînd la pămînt borna X, iar la alta legînd la pămînt borna A, echivalează cu încercarea atît a izolației dintre spire, cît și cu încercarea întregii izolații externe a transformatorului.

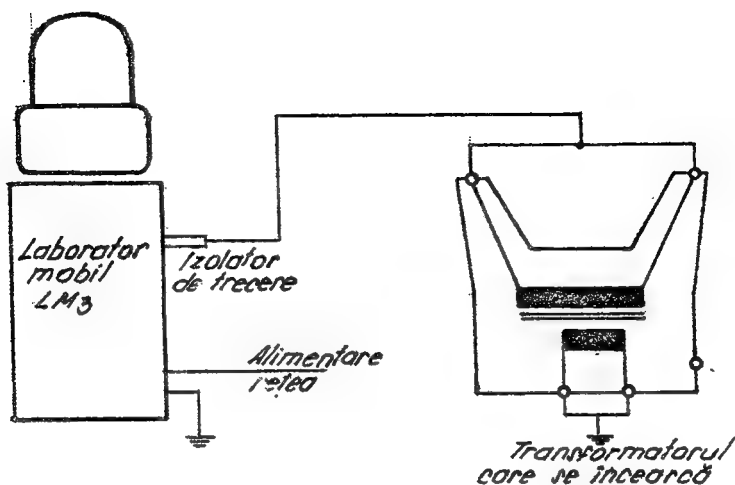


Fig. 3. Schema de încercare a izolației externe a transformatoarelor de tensiune bipolare, cu ajutorul laboratorului LM3.

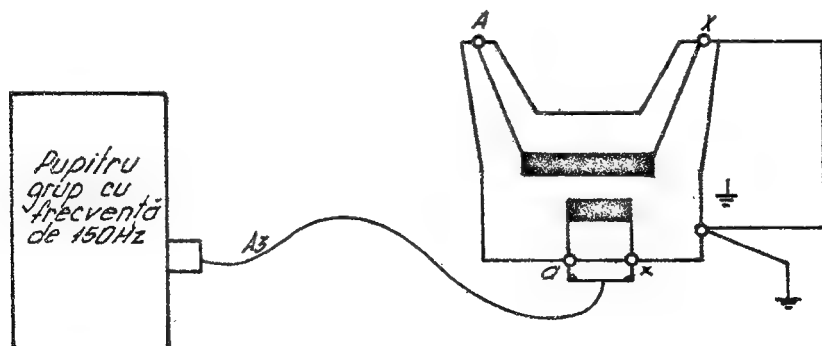


Fig. 4. Modul de racordare la grupul de 150 Hz și transformatoarelor bipolare.

c) Schema pentru încercarea transformatoarelor de tensiune capacitive

Transformatoarele de tensiune capacitive nu pot fi încercate în exploatare la locul de montaj, ci numai în atelierele de reparații, iar în acestea numai în părți distincte.

Astfel, se pot încerca separat capacitățile care formează partea de înaltă tensiune și separat, partea inductivă a transformatorului.

Încercarea condensatoarelor se execută cu o instalație de înaltă tensiune capabilă să producă cel puțin 250 kV c.a. și să debiteze un curent de minimum 0,5 A. Instalația trebuie să fie prevăzută cu un grup de reglaj al tensiunii, cu măsura tensiunii și cu sisteme de protecție.

Modul de amplasare al tronșoarelor de condensatoare în vederea încercării este arătat în fig.5.

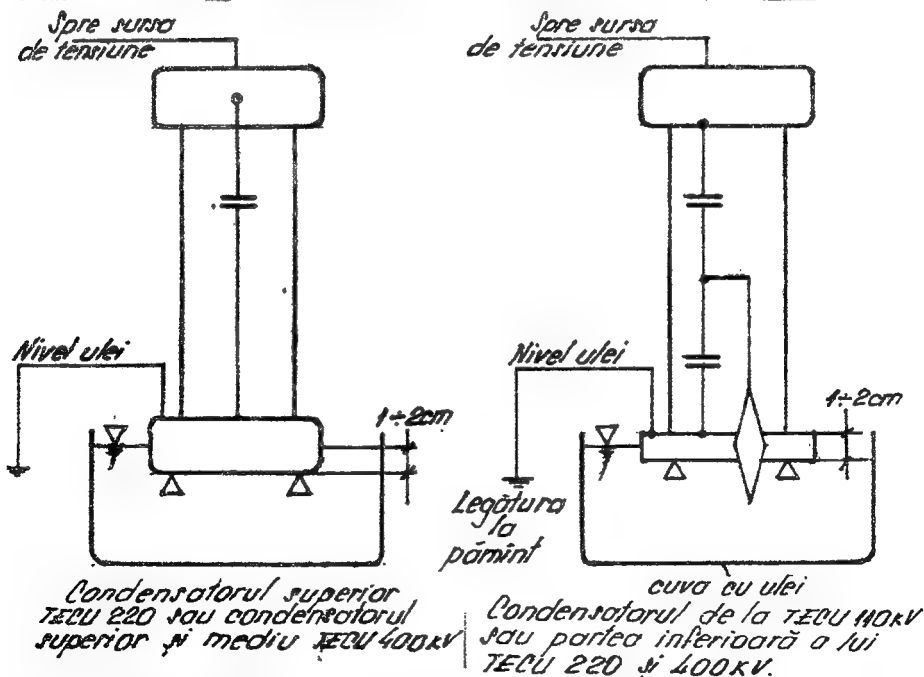


Fig.5. Modul de încercare a condensatorului de înaltă tensiune a transformatoarelor capacitive de tensiune la frecvență industrială.

Pentru încercarea părții inductive și a circuitului antiferorezonant în cuva transformatorului TECU, căruia i s-a demontat capacul și condensatorul amplasat pe capac, se desface următoarele legături:

- se desface legătura de la borna L_{0u} și se îndepărtează eclatorul F și bobina L_3 ;

- se demontează legătura dintre L_{1x} și borna A.

Capetele libere ale condensatoarelor se vor suspenda astfel, încât să se afle la circa 5 cm distanță de pereții cuvei și de celelalte părți conductoare.

Cablul A3 al grupului cu frecvența de 150 Hz se va racorda la bornele în, la de pe placa cu borne a cuvei.

Se va controla ca nivelul de ulei din cuvă să depășească cu circa 5 cm cel mai înalt obiect din cuvă, iar nivelul va avea o rigiditate de minimum 100 kV/cm; în rest, montajul de încercare este identic cu cel prezentat în fig.1.

3.5.3. Modul de execuție a probei

În continuare, se prezintă modul de execuție a probei de încercare cu tensiune mărită a părții de înaltă tensiune a transformatoarelor de măsură de tensiune, urmînd aceeași structură, ghidată după tipurile constructive, cum a fost prezentată în capitolul precedent.

3.5.3.1. Transformatoare de tensiune inductive monopolare

După realizarea schemei din fig. 1 și conectarea cablului A3 la bornele înfășurării de joasă tensiune, așa cum se arată în fig.2, se îngrădește locul în care se află transformatorul și se evacuează personalul din spațiul îngrădit.

Distanța dintre îngrădire și transformatorul care se încearcă depinde de mărimea tensiunii de încercare induse, la care este supus transformatorul.

În continuare, se execută următoarele operații (fig.7):

- se verifică încă o dată legăturile la pămînt ale obiectului de încercat;
- în funcție de transformatorul care se încearcă, se aleg pozițiile comutatorului ampermetric și ale bobinei de compensare, astfel:
 - comutatorul ampermetric;
 - transformatoare de 6;10;20 kV x 0,5 x 1;

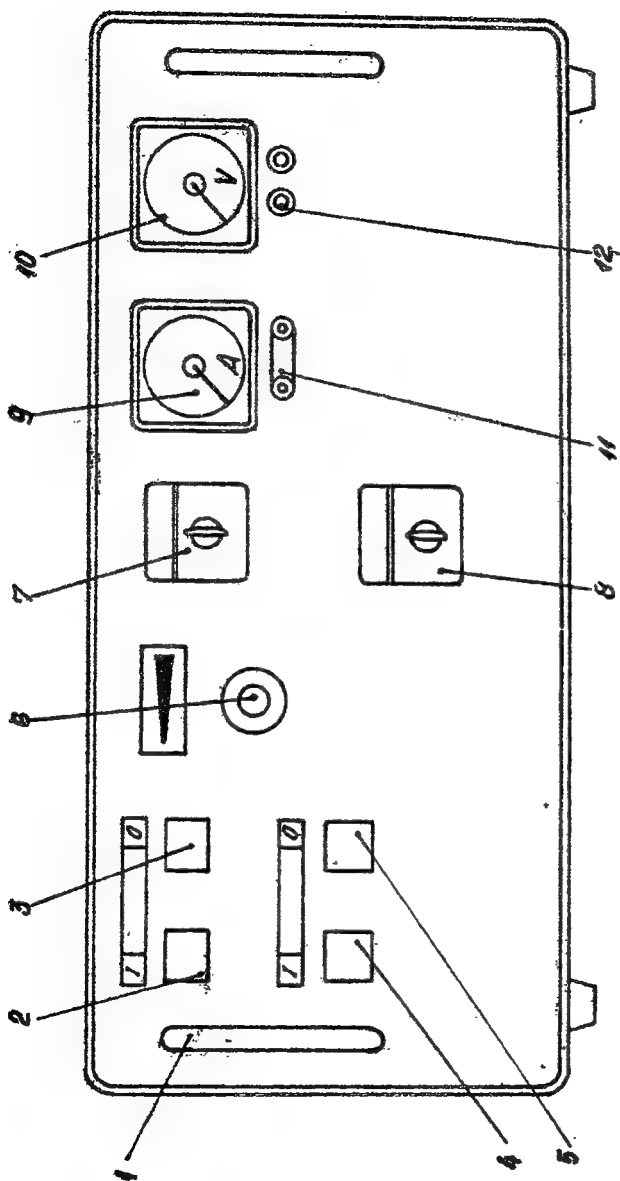


Fig.7. Descrierea aparatelor de pe panoul frontal: 1 - apărătoarea; 2 - butonul de pornire a motorului de antrenare b11; 3 - butonul de oprire a motorului de antrenare b12; 4 - butonul de conectare a generatorului de 150 Hz, b14; 5 - butonul de conectare a generatorului de 150 Hz, b15; 6 - butonul de reglaj al tensiunii de 150 Hz, m 4; 7 - comutatorul-ampereometru b18; 8 - comutatorul de compensare b7; 9 - ampermetrul pe partea de 150 Hz, q2; 10 - voltmetrul pe partea de 150 Hz, q1; 11 - punetul de măsură suplimentar pentru tensiune, b 10; 12 - punctul de măsură suplimentar pentru tensiune, b9.

- transformatoare de 35;110 kV x 2 x 4;
bobina de compensare;
- transformatoare de 6;10;20 kV, poziția 0;
- transformatoare de 35 kV, poziția 1;
- transformatoare de 110 kV, poziția 2.

ATENȚIE: la încercarea transformatoarelor de 110 kV, comutatorul bobinei de compensare nu se va trece pe poziția zero în timpul lucrului!

- se verifică poziția de zero a butonului de reglaj al tensiunii de 150 Hz;
- se apasă butonul MOTOR și se așteaptă pînă ce motorul intră în turația de regim;
- se apasă butonul GENERATOR I;
- urmărind indicațiile aparatelor de pe panou, se crește tensiunea pînă la valoarea corespunzătoare tensiunii de încercare;
- după scurgerea timpului de încercare prescris (conform PE 116/80), se coboară tensiunea încet;
- se apasă butonul GENERATOR 0;
- se apasă butonul MOTOR 0 și se deconectează grupul de la rețea;
- se desfac îngrădirile și se desface legătura cablului A3 de la bornele înfășurării secundare a transformatorului încercat.

Calculul tensiunii pe care trebuie să o debiteze grupul, astfel ca în înfășurarea de înaltă tensiune să se inducă tensiunea de încercare, se efectuează în felul următor: un transformator TIRMO-20 se încearcă la tensiunea de 45 kV și are raportul de transformare $20\ 000 / \sqrt{3} / 100 / \sqrt{3}$, ceea ce reprezintă 200. Tensiunea pe care trebuie să o debiteze grupul este de 45 000; $200 = 225\text{ V}$.

În mod analog se conduce calculul și pentru alte tipuri de transformatoare.

3.5.3.2. Transformatoare de tensiune inductive bipolare

a) Încercarea izolației externe se realizează cu laboratorul mobil LM3, astfel:

- după realizarea legăturilor ca în fig.3, se îngrădește obiectul de încercat și se mai verifică încă o dată legăturile la pământ;
- se racordează laboratorul mobil la rețea;
- se comută cheia de pe pupitrul de comandă și se deschide separatorul de punere la pământ;
- se apasă butonul de încercare;
- se crește tensiunea de încercare pînă la valoarea prescrisă și se așteaptă scurgerea timpului de încercare (PE 116/80, cap. 7.5.);

- se coboară tensiunea lent;
- se deconectează cheia de comandă;
- se deconectează alimentarea laboratorului și se deconectează conductorul de înaltă tensiune de la transformatorul care s-a încercat.

b) încercarea izolației între spire și încercarea izolației externe, prin două încercări la transformatoarele de tensiune bipolare, se efectuează cu aceeași succesiune a operațiilor ca încercarea descrisă la pct. 3.1. și conform schemelor din fig.1 și 4. La aceste încercări se utilizează grupul cu frecvență de 150 Hz.

Calculul tensiunii primare aplicate înfășurării de joasă tensiune, astfel ca în înfășurarea de înaltă tensiune să apară tensiunea de încercare, se efectuează după indicațiile de la pct. 3.1.

3.5.3.3. Încercarea transformatoarelor de tensiune capacitive

a) încercarea condensatoarelor care reprezintă partea de înaltă tensiune a transformatorului capacitiv de tensiune se execută ca încercarea oricărui obiect izolat cu înaltă tensiune, urmînd manevrele de creștere lentă, ținerea timpului prescris sub tensiunea de încercare și descreșterea lentă a tensiunii.

b) încercarea părții inductive și a circuitului antiferorezonant cu tensiune indusă cu frecvență de 150 Hz, după realizarea indicațiilor sugerate de fig.6. se realizează cu aceleași manevre, cu aceeași succesiune ca încercarea transformatoarelor de tensiune inductive monopolare, pct. 3.1.

3.5.3.4. Interpretarea rezultatelor probelor

Se consideră acceptate la probelă de verificare a izolației externe și a izolației între spire transformatoarele la care în cursul încercării nu au apărut conturări sau străpungeri sau la care, în cursul probei în cuvă, nu s-au auzit zgomote.

În mod analog, se acceptă și părțile componente ale transformatoarelor de tensiune capacitive încercate separat. Transformatoarele acceptate la proba cu tensiune mărită pot fi montate în instalație.

La încercarea cu tensiune alternativă indusă, de frecvență de 150 Hz, în buletinul de încercări, în afară de seria transformatorului și tensiunea la care a fost încercat, se va mai menționa și curentul absorbit de acesta.

3.5.3.5. Măsurări specifice de N.T.S. și P.S.I.

Măsurări specifice de N.T.S.

La executarea probelor de încercare se vor respecta prevederile cuprinse în cap. 6, 15 și 16 din "Norme de protecție a muncii pentru instalațiile electrice", ediția 1969, aprobate cu ordinul M.E.E., nr. 335/1968.

În afară de cele de mai sus, la încercările cu tensiune mărită, după întreruperea tensiunii de încercare, nu se va atinge obiectul de încercat cu mina, decât după ce a fost montată o ștangă legată la pământ pe borna sursei de înaltă tensiune, cu care a fost efectuată încercarea.

La încercările cu tensiune indusă de frecvență mărită, personalul nu se va apropia de transformatorul care a fost încercat, decât numai după ce motorul de antrenare al grupului s-a oprit, în urma deconectării, iar fișa cablului de alimentare a fost scoasă din priza de alimentare.

În această situație, personalul va descărca transformatorul încercat cu o ștangă legată la pământ, după care se pot desfășura legăturile de alimentare.

Măsurări specifice de P.S.I.

La încercarea transformatoarelor de tensiune ce conțin ulei se va aduce la locul de încercat un număr de stingătoare cu praf și CO_2 , corespunzător volumului de ulei existent în cuva transformatorului care se încarcă.

Înainte de începerea încercării, transformatorul se va șterge de eventualele pete de ulei de pe izolația exterioară și din cutia de borne.

3.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor transformatoarelor de tensiune

3.6.1. Scopul probei

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor se efectuează la înfășurărilor primare și secundare ale transformatoarelor de tensiune inductive și la înfășurările de joasă tensiune ale transformatoarelor capacitive.

Această probă se efectuează obligatoriu la punerea în funcțiune, după repararea înfășurărilor și, facultativ, la anumite intervale de timp.

Prin măsurarea rezistenței ohmice se verifică rezistența de contact a înfășurărilor la borne, continuitatea înfășurărilor, lipsa unor scurtecircuite între spire.

3.6.2. Metodele utilizate, Schemele de încercare

Măsurarea rezistenței ohmice se poate executa prin mai multe metode. În această instrucțiune se recomandă utilizarea a două metode:

- metoda punții;
- metoda voltmetru-ampmetru.

3.6.2.1. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor primare (rezistențe ohmice mari)

a) Metoda punții simple (Wheatstone)

Schema de verificarea este dată în fig. 3.6.1.

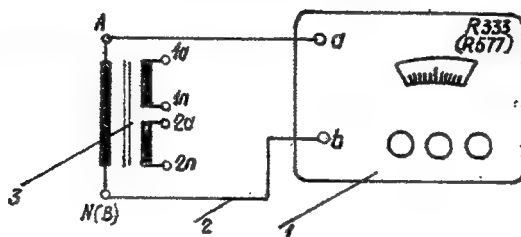


Fig.3.6.1. Măsurarea rezistenței înfășurării primare a transformatoarelor de tensiune, prin metoda punții simple: 1 - puntea simplă de teren (Wheatstone), de tip R-333 (U.R.S.S.) sau R-577 (U.R.S.S.), omega, RLC-lo etc.; 2 - cabloanele de legătură etalonate; 3 - transformatorul verificat.

Puntea simplă Wheatstone

Schema acestei punți este reprezentată în fig. 3.6.2.

Puntea conține trei rezistențe r , r_1 , r_2 , rezistența ohmică care se măsoară (r_x) și galvanometrul cu ac indicator. La echilibru, valoarea rezistenței ce se măsoară este dată de relația :

$$r_x = r \frac{r_1}{r_2},$$

valoare care se poate citi direct pe punte.

În cazul acestei punți, în valoarea măsurată sînt incluse rezistențele firelor de legătură și rezistențele de contact ale acestor fire.

De aceea, această punte se utilizează numai la măsurarea rezistențelor ohmice mari, și anume, în cazul de față, la măsurarea rezistențelor înfășurărilor de înaltă tensiune a transformatoarelor de tensiune.

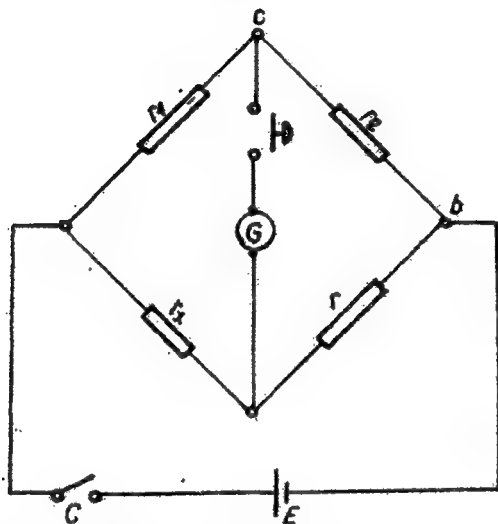


Fig.3.6.2. Schema de principiu a punții simple (Wheatstone) de teren: r , r_1 , r_2 - rezistențele din brațele punții; G - galvanometru cu ac indicator; B - buton de conectare a galvanometrului; E - baterie de curent continuu; C - întrepruptor.

Cordioanele de măsură etalonate

Cordioanele de măsură vor fi confecționate din conductor din cupru lițat și izolat, avînd secțiunea de minimum 6 mm^2 , prevăzute la capete cu papuci din cupru sau alamă. Lungimea lor nu va depăși, pe cît va fi posibil, lungimea dictată de distanțele dintre punctele de conexiune, iar rezistența lor va fi determinată în prealabil.

Transformatorul verificat

Transformatorul inductiv ce urmează a fi verificat este separat de circuitele primare și secundare ale instalațiilor. Înfășurarea primară care se verifică este conectată la punte, iar celelalte înfășurări sunt lăstate libere (deschise).

b) Metoda voltmetrului și a ampermetrului. Montajul aval

Metoda constă în determinarea raportului dintre tensiunea aplicată la bornele înfășurării care se verifică și curentul care rezultă. Raportul respectiv reprezintă rezistența ohmică a înfășurării verificate:

$$R_x = \frac{U}{I}$$

Schema de măsură este dată în fig.3.6.3

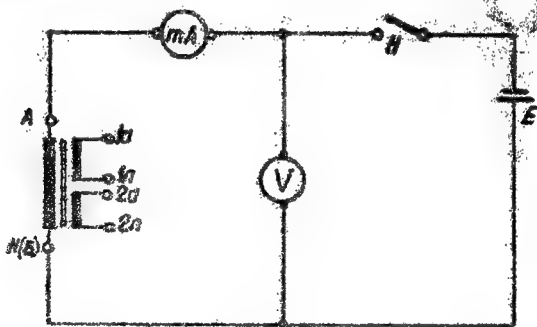


Fig.3.6.3. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurării de înaltă tensiune a transformatorului de tensiune, prin metoda voltmetru-ampermetru (montaj aval): V - voltmetrul de curent continuu; mA - miliampermetrul de curent continuu; E - bateria de acumulare; C - heblul bipolar; S - siguranțele.

În fig.3.6.3.:

- V este voltmetrul de curent continuu de clasă 0,5 sau aparatul universal cu rezistență internă mare, cu domeniul de măsură 0 30 V;
 mA - miliampermetrul de curent continuu de clasă 0,5, cu domeniul de măsură 0 ... 5 mA;
 E - bateria de acumulator de 12 V, 40 Ah;
 H - heblul bipolar.

Rezistența măsurată se calculează cu expresia:

$$R = \frac{U - I \cdot R_a}{I},$$

unde:

- U este tensiunea măsurată cu milivoltmetrul;
 I - curentul măsurat cu miliampermetrul;
 R_a - rezistența internă a ampermetrului.

3.6.2.2. Măsurarea rezistențelor ohmice ale înfășurărilor secundare (rezistențe ohmice mici)

a) Metoda punții duble (Thomson)

Schema de verificare este dată în fig. 3.6.4.

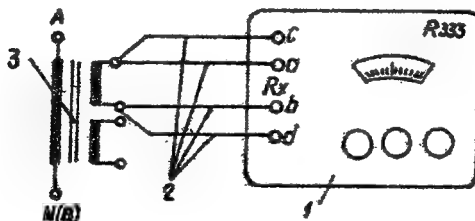


Fig.3.6.4. Măsurarea rezistențelor înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de tensiune prin metoda punții; 1 - puntea dublă de teren, de tip R-333 (U.R.S.S.) etc.; 2 - cordelele de măsură; 3 - transformatorul verificat.

1. Puntea dublă

- Schema de principiu a unei astfel de punți este dată în fig. 3.6.5.

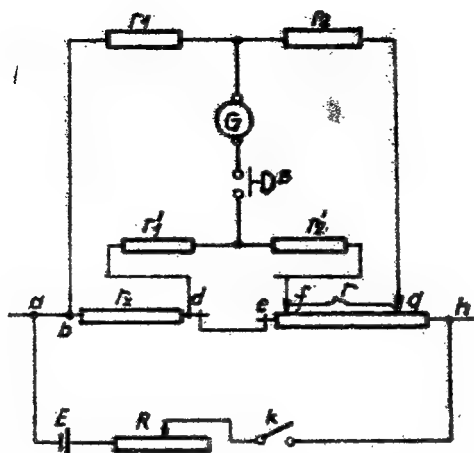


Fig. 3.6.5. Schema de principiu a punții duble;
 r_1 , r_2 , r_1' , r_2' - rezistențele de precizie;
 r_x - rezistența de verificare; G - galvanome-
 trul cu ac indicator; B - butonul cu reținere;
 R - reostatul; K - întreruptorul; E - baterie
 de curent continuu.

Modul de manevrare a punții duble constă în regla-
 rea raportului rezistențelor $\frac{r_1}{r_2}$ și $\frac{r_1'}{r_2'}$, menținând
 egalitățile $r_1=r_1'$ și $r_2=r_2'$. Fiecare din aceste rezisten-
 țe trebuie să fie de cel puțin 10 ohmi; se reglează
 cursorul g în poziția pentru care rezistența r este egală
 cu valoarea presupusă a rezistenței r_x , care se verifi-
 că; se închide întreruptorul k și se reglează curentul
 din circuitul bateriei, cu ajutorul reostatului R; se
 apasă butonul B și se reglează cursorul g, pînă se aduce
 acul galvanometrului în poziția zero a scalei. Valoarea

rezistenței măsurate este dată de relația: $r_x = r \frac{r_1}{r_2}$,

valoare ce se poate citi direct pe punte.

Deoarece rezistențele de contact din punctele a, d, e, h se află dincolo de limitele rezistențelor r_x și r , este înlăturată influența pe care ar putea-o

avea rezistențele de contact asupra valorii măsurate.

De asemenea, nu intervin nici erorile datorate cordonelor de legătură, deoarece sînt inseriate cu rezistența a căror valoare este de cel puțin 10 ohmi.

2. Cordioanele de legătură, avînd o secțiune de minimum 6 mm^2 , sînt prevăzute la capete cu papuci, conectate cîte două la fiecare bornă secundară a transformatorului.

3. Transformatorul verificat este conectat la fel ca la pct. 3.6.2.1.

b) Metoda voltmetrului și a ampermetrului. Montajul amonte

Schema de măsurare este dată în fig. 3.6.6.

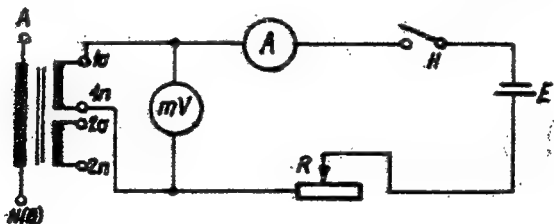


Fig. 3.6.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurării de joasă tensiune a transformatorului de tensiune, prin metoda voltmetru-ampermetru (montaj amonte); mV - milivoltmetrul de curent continuu; A - ampermetrul de curent continuu; R - reostatul de reglaj; E - bateria de acumulatori; H - heblul.

în fig. 3.6.6.:

- mV este milivoltmetrul de curent continuu, de clasă 0,5, avînd rezistența internă mare, cu domeniul de măsură:
- 0 ... 60 (75) mV;
 - 0 ... 120 (150) mV;
 - 0 ... 300 mV;
- mA - miliampermetrul de curent continuu, de clasă 0,5, cu domeniul de măsură de 0 ... 1 A;
- R - reostatul de reglaj, de circa 100 ohmi, 2,5 A;
- E - bateria de acumulatori de 12 V, 40 Ah;
- G - heblul bipolar.

Rezistența măsurată se calculează cu expresia:

$$r = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

unde:

- U este tensiunea măsurată la bornele transformatorului;
- I - curentul măsurat de ampermetru;
- R_v - rezistența internă a milivoltmetrului.

3.6.3. Condițiile de execuție a probei

Măsurarea se execută numai după deconectarea tuturor legăturilor primare și secundare. În timpul măsurării unei înfășurări, celelalte înfășurări rămîn libere (deschise).

Pentru a evita erorile de măsură datorate încălzirii înfășurării măsurate, curentul din înfășurare nu va depăși 20 % din curentul nominal al acesteia, corespunzător clasei de precizie garantate.

NOTĂ.

La metoda volt-ampermetrului se vor respecta următoarele reguli:

- închiderea și deschiderea circuitului se va face numai cu milivoltmetrul deconectat (conectarea voltmetrului se va efectua după închiderea circuitului, iar deconectarea voltmetrului se va efectua înainte de deschiderea

circuitului). În acest fel se evită deteriorarea voltmetrului din cauza tensiunilor induse;

- manevrele de deschidere sau închidere ale circuitului se vor efectua după ce se fixează valoarea maximă a rezistenței reostatului;

- după conectarea circuitului, se așteaptă stabilizarea indicațiilor aparatelor. Valorile măsurate se înregistrează numai după stabilirea indicațiilor aparatelor;

- suprafețele de contact trebuie bine curățate cu șmirghel cu granulație fină;

- contactele se vor efectua prin strângere corespunzătoare;

- montajul se va efectua cât mai aproape posibil de locul de fixare a transformatorului de verificat.

3.6.4. Interpretarea rezultatelor

Transformatoarele se consideră că sînt corespunzătoare, dacă valorile măsurate nu diferă cu mai mult de 2 % față de valorile de referință.

La transformatoarele de tensiune trifazate, rezistența ohmică a fazelor trebuie să nu difere cu mai mult de 2 %.

Pentru efectuarea comparației valorilor calculate cu valorile de referință, este necesar să se facă recalcularea la temperatura inițială a valorilor măsurate.

Recalcularea rezistenței ohmice la temperatura de referință se face cu formula:

$$R_0 = R_m \left[1 + \alpha (t_m - t_0) \right] ,$$

$$\alpha_{Cu} = 0,00393$$

unde:

R_m este valoarea rezistenței măsurate la temperatura la care s-a executat măsurarea;

t_m - temperatura la care s-a executat măsurarea;

t_0 - temperatura inițială.

Dacă valoarea măsurată este extrem de mică în comparație cu valoarea de referință, înfășurarea are spire în scurtcircuit.

3.6.5. Măsurii specifice de protecție a muncii

În timpul măsurării rezistenței ohmice a înfășurărilor de joasă tensiune, în momentul închiderii circuitului de măsură pot apărea impulsuri de înaltă tensiune de foarte scurtă durată, la bornele înfășurării de înaltă tensiune. De aceea, în timpul măsurării este interzisă atingerea bornelor de înaltă tensiune ale transformatorului de măsură.

3.7. Verificarea polarității înfășurărilor

3.7.1. Scopul verificării

Verificarea polarității are drept scop depistarea unor eventuale inversări de borne, nesesizate la livrarea transformatorului din fabrică sau după efectuarea unor reparații în atelier. Din acest motiv, ea se execută numai la PIF sau după reparații cu recondiționarea transformatoarelor în atelier, când se demontează legăturile interioare la bornele secundare.

3.7.2. Principiul metodei, aparatura de măsură și modul de lucru

Pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune se folosește metoda curentului continuu. Aceasta se bazează pe faptul că la o polaritate corectă a bornelor secundare, un impuls de scurtă durată de polaritate cunoscută, injectat la bornele primare, va fi transformat corect, fiind regăsit la bornele secundare cu aceeași polaritate, cu ajutorul unui miliampermetru magnetoelectric.

- Pentru transformatoarele de tensiune inductive monofazate, mono sau bipolare, schema de montaj pentru determinarea polarității bornelor este următoarea:

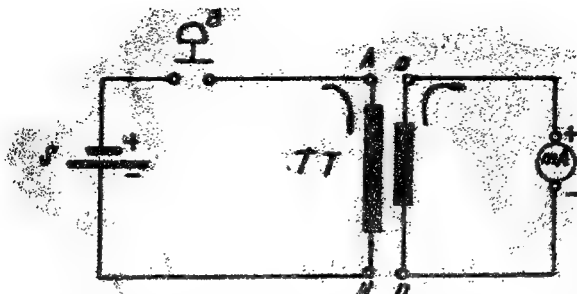


Fig.3.7.1. Schema de principiu pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor monofazate prin metoda curentului continuu: B - bateria de 6 - 12 V (în funcție de sensibilitatea miliampermetrului utilizat); A - butonul cu revenire tip BF-6, de 6 A - 500 V; mA - miliampermetrul magnetoelectric cu amortizare mare (cu domeniul de măsură 0 - 30 mA, de preferință cu zero la mijlocul scalei); TT - transformatorul de tensiune verificat.

Miliampermetrul mA poate fi înlocuit cu un aparat universal conectat la început pe o gamă de 0 - 30 mA c.c. sau pe o gamă de curent redusă.

Se apasă butonul B timp de 2 - 3 sec și se urmărește deviația aparatului de măsură; în cazul utilizării unui aparat universal, se modifică domeniul de măsură pînă la obținerea unei deviații convenabile la aparat.

La o polaritate corectă a bornelor, acul aparatului va devia spre dreapta, pentru scurt timp.

Se deconectează alimentarea circuitului primar, prin revenirea butonului B; în acest caz acul aparatului va devia, pentru scurt timp, spre stînga, contrar deviației anterioare.

În cazul unei polarități greșite a înfășurării secundare, la conectarea circuitului primar, acul aparatului indicator va devia spre stînga, iar la deconectare, deviația acestuia va fi spre dreapta.

Pentru mărirea operativității măsurării și evitarea greșelilor de montaj se poate utiliza, pentru verificarea polarității, un indicator de polaritate ca în fig. 3.7.2.

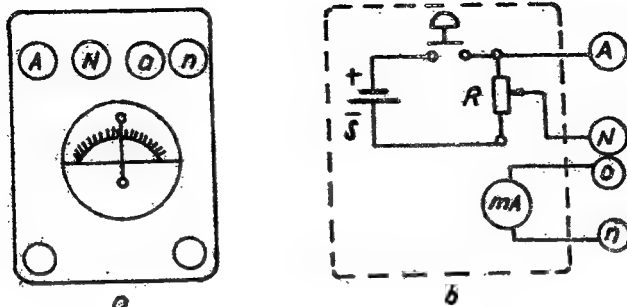


Fig. 3.7.2. Indicatorul de polaritate:
a - aspectul exterior; b - schema electrică interioară.

Suplimentar, față de schema din fig.3.7.1., indicatorul de polaritate poate fi prevăzut cu o rezistență de circa 1000Ω , reglabilă continuu (reostat) sau în 4-5 trepte, pentru reglarea curentului care trece prin aparatul indicator și protecția lui.

Pentru transformatoarele capacitiv-inductive de tipul TECU-110-400 kV, pentru verificarea polarității se poate utiliza schema din fig. 3.7.3.

Spre deosebire de transformatoarele inductive, în cazul transformatoarelor capacitive, miliampermetrul se conectează cu borna minus la începutul înfășurării secundare și cu borna plus, la sfârșitul ei.

Se rotește manivela megohmmetrului pînă la atingerea turației nominale, după care se apasă butonul B timp de 2-3 sec. La o polaritate corectă, miliampermetrul, montat ca în fig.3.7.3., va devia spre dreapta pentru scurt timp.

La întreruperea circuitului, acul aparatului va devia spre stînga, pentru scurt timp.

Pentru transformatoarele de tensiune trifazate, în locul verificării polarității, pentru verificarea corectitudinii legăturilor interioare ale înfășurărilor primare, respectiv secundare, se determină grupa de conexiuni a acestuia, ca la transformatoarele de putere. Descrierea metodei de verificare este dată în "Instrucțiunea tehnologică de verificare preventivă a transformatoarelor de putere".

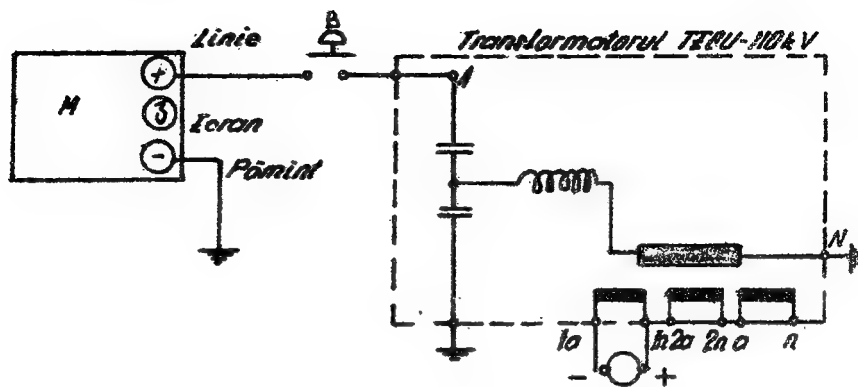


Fig. 3.7.3. Schema de principiu pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor capacitiv-inductive, TEGU-110-400 kV: M - megohmmetrul de 2500 V, tip MC-05; mA - aparatul universal tip AVOMET de 0-3 mA; B - butonul cu revenire tip BF-6, de 6 A-500 V.

3.7.3. Măsurile suplimentare de protecție a muncii

Pentru verificarea polarității se alimentează (cu curent continuu) obligatoriu înfășurarea primară a transformatorului de tensiune. În aceste condiții transformatorul verificat, funcționând ca transformator coborât la bornele înfășurării secundare nu pot apărea impulsuri de tensiune periculoase pentru echipa de încercare, evitându-se totodată și deteriorarea aparatului indicator.

3.8. Verificarea raportului de transformare la transformatoarele de tensiune

3.8.1. Scopul probei

Proba are drept scop punerea în evidență a unor defecte de bobinaj sau în miezul magnetic, intervenite în cursul transportului de la fabricant la locul de montaj sau în cursul exploatării.

Verificarea raportului de transformare este prevăzută prin STAS 4323-70 și prin normativul PE 116/80.

3.8.2. Aparatura necesară, scheme de măsură

Avînd în vedere gama mare de tensiuni și varietatea de tipuri constructive, se prezintă în continuare aparatura necesară și schemele de montaj pentru verificare, atât a transformatoarelor de măsură inductive, cît și a celor capacitive, în două variante, și anume:

- scheme de încercare utilizînd aparatură specializată;
- scheme de încercare utilizînd montaje realizate din piese separate.

În general, verificarea raportului de transformare se execută la tensiunea nominală, însă pentru transformatoarele cu tensiuni de 220 și 400 kV această verificare se poate efectua și la o tensiune mai mică decît cea nominală dar nu mai mică decît 30 % din tensiunea nominală.

3.8.2.1. Aparatura necesară

3.8.2.1.1. Aparatura necesară cînd se utilizează instalații specializate

Pentru verificarea raportului de transformare, sînt necesare următoarele aparate și instalații:

- laborator mobil LM3;
- transformator de tensiune, cu tensiunea nominală egală sau mai mare decît tensiunea nominală a transformatorului care se verifică, despre care se știe că este corespunzător: 1 buc.;
- voltmetru electromagnetic sau electrodinamic de clasă 0,2 sau 0,5, cu tensiunea de 0 - 100 V: 2 buc., cu verificarea metrologică la zi;
- corderne de legătură.

3.8.2.1.2. Aparatura necesară cînd se utilizează scheme de verificare realizate din piese separate:

- suport cu sigurnțe fuzibile sau automate de 4 + 6 A sau de 10 + 16 A.

Siguranțele de 4 + 6 A se folosesc cînd se verifică transformatoare inductive de tensiune de 6 - 35 kV.

Siguranțele de 10 + 16 A se folosesc cînd se verifică transformatoarele inductive de tensiune de 110 - 220 kV;

- autotransformator reglabil ATR 8 (8 A) sau ATR 18 (18 A).

Autotransformatorul reglabil de 8 A se folosește la verificarea transformatoarelor inductive de 6-35 kV, iar autotransformatorul de 18 A se folosește la verificarea transformatoarelor inductive de 110-220 kV;

- transformator de tensiune inductiv cu tensiunea nominală egală sau mai mare decât cea a transformatorului care se verifică, folosit ca sursă de tensiune;
- transformator de tensiune inductiv, cu tensiunea egală sau mai mare decât a celui care se verifică, despre care se știe că este în clasă;
- voltmetru electromagnetic sau electrodinamic, de clasă 0,2 sau 0,5, de 0-100 V; 2 buc., cu verificarea metrologică la zi;
- cordoane de legătură.

3.8.2.2. Scheme de verificare

3.8.2.2.1. Scheme de verificare utilizând aparatură specializată

Schema de verificare prezentată mai jos poate fi folosită la verificarea transformatoarelor de măsură de tensiune inductive și capacitive, cu tensiuni de la 6 la 400 kV, inclusiv.

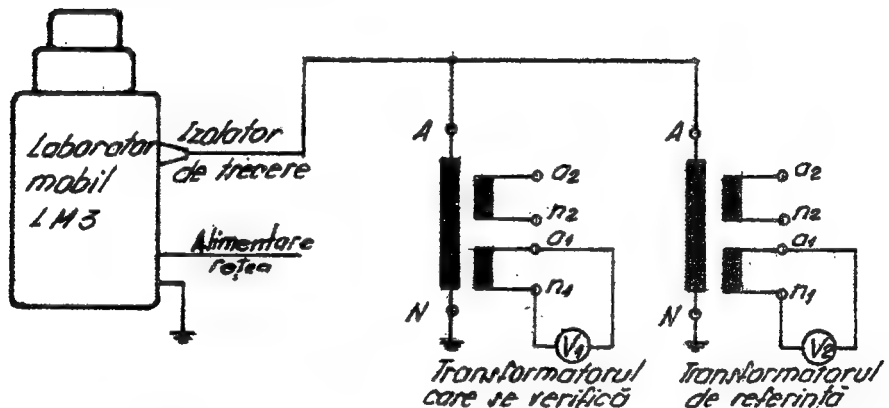


Fig.3.8.2.2.1. Verificarea izolației transformatoarelor de tensiune, folosind laboratorul mobil LM3.

La verificarea transformatoarelor cu tensiuni de 110 - 400 kV, inductive sau capacitive, ca transformator de referință poate fi folosit unul din transformatoarele de măsură de pe una din fazele vecine.

În afară de legăturile prezentate în fig.3.8.2.2.1., în interiorul laboratorului mobil se vor mai executa

următoarele comutări și legături:

- comutatorul de alegere CA se așază pe poziția INCERCARE UIT;

- borna de I T a transformatorului de 70 kV se leagă la borna superioară a separatorului de punere la pământ, iar acesta se racordează la izolatorul de trecere, montat în fereastra laboratorului mobil.

3.8.2.2.2. Scheme de încercare, utilizând montaje din piese separate

Schema prezentată în fig.3.8.2.2.2. poate fi utilizată pentru verificarea transformatoarelor cu tensiuni de 6-400 kV, inductive sau capacitive.

Având în vedere dificultățile de transport al transformatoarelor cu tensiuni mari, se recomandă utilizarea ei la verificarea transformatoarelor inductive cu tensiuni de 6-110 kV, inclusiv.

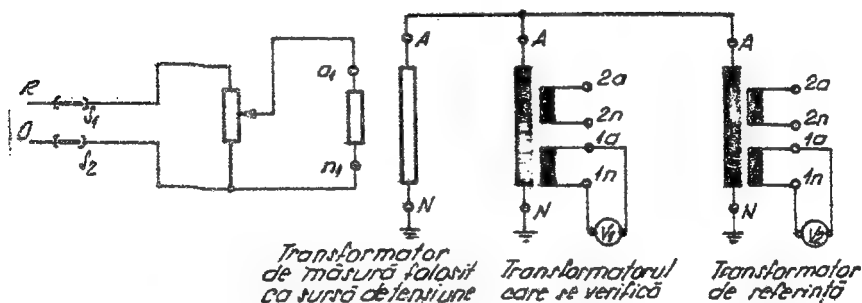


Fig.3.8.2.2.2. Schema de încercare a izolației transformatoarelor de tensiune, utilizând montaj din piese separate.

Pentru verificarea transformatoarelor inductive de 110 kV, transformatorul folosit ca sursă de tensiune, cel care se verifică și cel de referință pot face parte din aceeași celulă.

Pentru verificarea celor trei transformatoare din celulă se inversează pe rând funcțiile lor.

3.8.3. Modul de execuție a verificării

3.8.3.1. Modul de execuție a verificării utilizând o instalație specializată

Pentru executarea verificării raportului de transformare, folosind laboratorul mobil LM3, se execută următoarele operații:

- se verifică încă o dată montajul efectuat, conform fig.3.8.2.2.1. și indicațiilor de la pct.2.2.1., în special legăturile la pământ;

- se montează îngrădiri în jurul pieselor aflate sub înaltă tensiune. Ingrădirea trebuie să cuprindă și peretele lateral al autolaboratorului, pe care se află izolatorul de trecere și ușa de acces în compartimentul de înaltă tensiune.

Cordoanele de legătură dintre voltmetrele V_1 și V_2 vor fi suficient de lungi, astfel ca acestea să se afle în afara îngrădirii;

- se alimentează laboratorul mobil de la rețea;
- se alimentează pupitrul de comandă, prin intermediul cheii aflate pe panoul frontal;

- se deschide separatorul de punere la pământ al autolaboratorului;

- se apasă butonul ÎNCERCARE;

- se crește tensiunea până la valoarea prescrisă și se citesc indicațiile celor două voltmetre;

- se coboară lin tensiunea, se deconectează circuitul de încercare, se închide separatorul de punere la pământ și se întrerupe alimentarea pupitrului de comandă al laboratorului mobil;

- se deconectează alimentarea laboratorului mobil de la rețea;

- se desfac îngrădirile montate în vederea verificării;

- se desfac cele două voltmetre;

- la verificarea transformatoarelor de tensiune capacitive, se șuntează cu un conductor borna de înaltă tensiune a condensatorului cu masa. În acest timp, separatorul de punere la pământ va rămâne tot timpul închis. Numai după această operație, este permisă desfacerea legăturii dintre transformatorul capacitiv și izolatorul de trecere al laboratorului mobil. Conductorul de șuntare va rămâne pe transformatorul capacitiv, până la racordarea acestuia la barele de înaltă tensiune ale stației.

În continuare, se reface schema de funcționare inițială în instalație a transformatorului verificat.

3.8.3.2. Modul de execuție a verificării utilizând un montaj realizat din piese separate

În vederea verificării, se efectuează următoarele operații:

- se verifică încă o dată montajul efectuat conform fig. 3.8.2.2.2., în special legăturile la pământ;
- se montează îngrădirile celor trei transformatoare, sursa, transformatorul de verificat și transformatorul de referință. Se va avea grijă ca autotransformatorul reglabil și cele două voltmetre să aibă cordonii suficienți de lungi, astfel încât să fie în afara zonei îngrădite;
- se alimentează montajul de la rețea, având grijă ca autotransformatorul să fie pe zero;
- se crește tensiunea până la valoarea prescrisă și se citesc cele două voltmetre;
- se coboară lin tensiunea până la zero;
- se deconectează alimentarea de la rețea;
- se descarcă partea de înaltă tensiune a montajului, punând o ștangă pe borna transformatorului folosit ca sursă.

Dacă transformatorul de încercat și cel de referință sînt de tip capacitiv, atunci capacitatea de înaltă tensiune se va șunta cu un conductor de masă. Acest conductor va rămîne montat pînă la legarea transformatorului capacitiv la bornele stației.

În continuare, se reface schema inițială de funcționare a transformatorului care a fost verificat.

3.8.4. Interpretarea rezultatelor

Pentru interpretare, se consideră de fiecare dată ca bun transformatorul de referință.

În funcție de valorile citite pe cele două voltmetre, se determină transformatorul de măsură cu raport necorespunzător.

De exemplu, la verificarea raportului de transformare a transformatoarelor de tensiune inductive dintr-o celulă de 110 kV echipată cu trei transformatoare de tip TEMU - 110, se utilizează succesiv cele trei transformatoare (fig. 3.8.2.2.2.): sursă, transformatorul de verificat și transformatorul de referință.

După efectuarea celor trei măsurători (cîte una pentru fiecare din transformatoare), se poate obține o situație ca cea de mai jos:

Verificarea	Transformatorul, faza, funcția și valoarea măsurată, V		
	R	S	T
I	sursă -	verificat 99	referință loo
II	referință loo	sursă -	verificat lol
III	verificat loo	referință loo	sursă -

La analiza măsurătorilor, se compară valoarea tensiunii indicată de transformatorul de referință, cu valoarea tensiunii transformatorului verificat.

Din tabelul de mai sus, se observă că transformatorul necorespunzător este cel de pe faza T, deși după prima măsurătoare am fi tentați să afirmăm că cel de pe faza S este cel necorespunzător.

3.8.5. Măsurî speciale de N.P.M. și P.S.I.

3.8.5.1. Măsurî speciale de N.P.M.

La efectuarea lucrărilor de verificare a raportului de transformare, se vor respecta "Normele de protecție a muncii în instalații electrice", aprobat cu ordinul M.E.E., nr. 335/1968.

Avînd în vedere că această verificare se execută la înaltă tensiune, după terminarea verificării, transformatorul verificat se va descărca cu o ștangă legată la pămînt.

La transformatoarele de tensiune capacitive, condensatorul de înaltă tensiune se va descărca și se va șunta imediat cu un conductor care va rămîne pe condensator pînă în momentul în care acesta se leagă la bornele stației.

3.8.5.2. Măsurî P.S.I.

La verificarea transformatoarelor de tensiune cu ulei, se va sduce în zona de lucru un număr de stingătoare cu praf și CO₂, corespunzător volumului de ulei conținut în cuva transformatorului.

3.9. Ridicarea caracteristicii de mers în gol

3.9.1. Scopul încercării

Conform normativului PE 116/80, ridicarea caracteristicii de mers în gol se execută numai la transformatoarele inductive monofazate, mono și bipolare, fiind obligatorie la punerea în funcțiune a acestora, sau cu ocazia unor reparații accidentale ale înfășurărilor. Execuția ei are drept scop:

- depistarea unor scurtcircuite între spirele înfășurării primare sau între spirele înfășurărilor secundare, ca urmare a unor defecțiuni intervenite în timpul transportului, al manipulării la montaj sau la demontarea transformatorului, în cazul reparației;

- punerea în evidență a unor defecțiuni ale miezului magnetic (tole scurtcircuitate), survenite în aceleași condiții.

Prezența unui defect de acest tip este pusă în evidență de creșterea curentului de mers în gol al transformatorului și de apariția cotului de saturație al curbei de mers în gol la tensiuni inferioare tensiunii nominale a transformatorului.

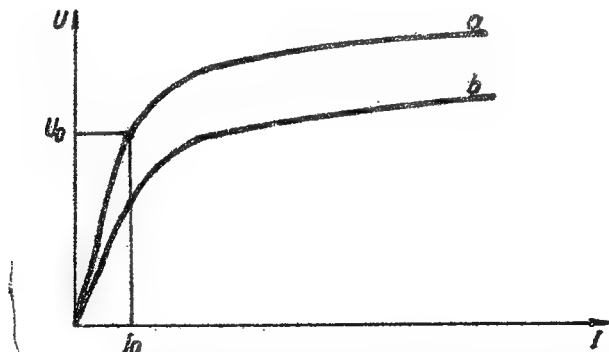


Fig.3.9.1. Alura caracteristicii de mers în gol pentru: a) transformator de tensiune normal; b) transformator de tensiune cu spire scurtcircuitate sau tole magnetice scurtcircuitate.

Întrucît fabrica furnizoare (I.E.P.C.) nu ridică aceste caracteristici și nu specifică prin norma internă decît curentul de mers în gol al transformatoarelor de tensiune asimilate, începînd din 1980 alura curbei de mers în gol și valoarea curentului de mers în gol la tensiunea nominală se compară cu valorile inițiale sau, în cazul transformatoarelor noi, cu curbele ridicate la transformatoarele de același tip.

3.9.2. Schema de verificare și utilajul de bază pentru ridicarea caracteristicii de mers în gol la transformatoarele inductive sînt date în fig.3.9.2.

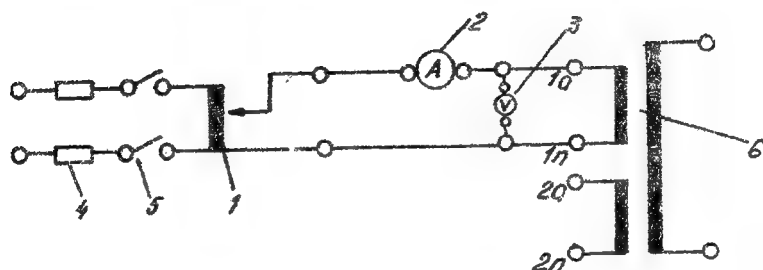


Fig.3.9.2. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicii de mers în gol la transformatorul de tensiune monofazat.

În această figură, notațiile reprezintă:

- 1 - Autotransformator reglabil:
 - ATR-8; 220/0 ... 220 V, 8 A - în cazul transformatoarelor de 6 - 35 kV;
 - ATR-50; 220/0 ... 242 V, 50 A - în cazul transformatorului TEMU - 110 kV;
- 2 - Ampermetru electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură:
 - 0 5 A - pentru transformatoarele de 6 - 35 kV;
 - 0 20 A - pentru transformatorul TEMU - 110 kV;
- 3 - Voltmetru electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură:
 - 0 150 V - atât pentru înfășurarea de măsură

protecție $\left(\frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V} \right)$, cît și pentru înfășurarea auxiliară de protecție homopolară.

Aparatul va fi cu rezistență internă mare (minimum $100 \Omega / V$).

- 4 - siguranțele fuzibile cu patron, sau siguranțe automate de: 10 A - 500 V, pentru transformatoarele de medie tensiune; 16 A - 500 V, pentru transformatorul TEMU-110 kV;
- 5 - heblul bipolar;
- 6 - transformatorul de tensiune de verificat.

3.9.3. Execuția probei

Transformatorul de tensiune, fiind separat atît pe partea de înaltă tensiune, cît și de circuitele secundare (înfășurările primare și secundare deschise), se alimentează pe rînd cu o tensiune de frecvență industrială, practic sinusoidală, cîte una din înfășurările secundare (în cazul în care transformatorul este prevăzut cu două înfășurări secundare). Pentru evitarea eventualei magnetizări remanente a miezului magnetic, curba se ridică numai în sens crescător, evitîndu-se coborîrea tensiunii pe parcurs sau întreruperea circuitului. Ridicarea caracteristicii se efectuează, de obicei, pînă la tensiunea nominală a înfășurării respective (după caz $\frac{100}{\sqrt{3}}$; $100 \frac{100}{3}$), citindu-se curen-

tul de mers în gol corespunzător. În cazul în care nu se dispune de aparatura necesară pentru execuția încercării izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită, aplicată sau indusă, conform pct.3.5., proba de mers în gol va fi continuată pînă la $1,3 U_n$, menținîndu-se la această valoare timp de un minut.

După ridicarea caracteristicii de mers în gol, tensiunea se reduce la zero.

Ridicarea caracteristicilor se face pe rînd, pentru fiecare secundar în parte, cu valorile citite trasîndu-se curbele de magnetizare, în coordonate normale sau logaritmice.

Un exemplu de trasare a acestor caracteristici pentru un transformator TEMU - 110 kV este dat în fig.3.9.3.

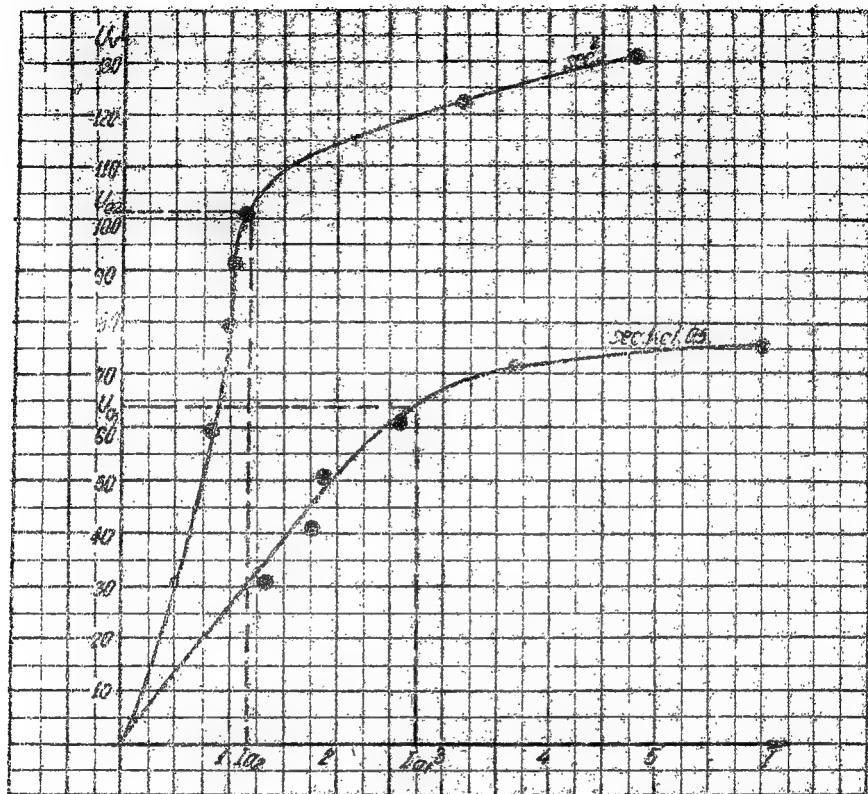


Fig.3.9.3. Trasarea caracteristicile de mers în gol la transformatorul TEMU-110 kV, seria 655.697/1976.

3.9.4. Măsurile suplimentare de protecție a muncii

Întrucât în timpul ridicării caracteristicii de mers în gol în înfășurarea primară a acestuia se induce înaltă tensiune, este obligatoriu să se ia aceleași măsuri ca în cazul execuției probei cu tensiune indușă, măsuri prevăzute la pct. 3.5.

3.10. Verificarea circuitului antifero- rezonant la transformatoarele capacitive TBOU-110-400 kV

3.10.1. Scopul probei

Transformatoarele capacitive TBOU-110-400 kV sînt deta-
te cu un circuit antifero-rezonant care are rolul de a
reduce la minimum, ca amplitudine și durată, oscilațiile
de ferorezonanță stabile și oscilațiile tranzito-
rii care pot apărea la bornele înfășurărilor secundare.

Acest circuit se compune din următoarele elemente
(fig. 3.10.1.):

- condensatorul C_1 ;

- inductanțele cu miez de fier, cu întrefier regla-
bil, L_1 și L_2 ;

- rezistența variabilă cu silit, R_1 .

Condensatorul C_1 și inductanțele L_1 și L_2 sînt
amplasate în interiorul cuvei inductive, în timp ce re-
zistența R_1 este amplasată în cutia de borne, în spatele
plăcii de borne, în colțul drept superior al acesteia,
borna "a" a acesteia fiind accesibilă din exterior, fără
demontarea plăcii de borne.

Intrucît în exploatare au fost constatate relativ
frecvente deteriorări ale condensatorului C și ale
rezistenței cu silit R_1 , scopul probei este de a veri-
fica, fără decuparea părții inductive a transformatorului,
integritatea circuitului antifero-rezonant pe baza măsură-
rii căderii de tensiune U_R , pe rezistența cu silit R_1 .

În cazul în care se obțin valori neconcludente sau la
limită măsurarea căderii de tensiune U_R se completea-
ză cu măsurarea curentului I_R care se scurge la pămînt
prin rezistența R_1 .

3.10.2. Schema de verificare și utilajul necesar

În funcție de modul de conectare a transformatoa-
relor capacitive, în instalația respectivă se poate uti-
liza una din următoarele scheme de măsură:

a) pentru transformatoarele de tensiune conectate
direct la bare (linii), proba se poate face prin alimen-
tarea transformatorului dintr-o sursă separată (labora-
torul mobil LM3), prin aplicarea unei tensiuni reduse
(30 kV) pe unitatea de bază a stivei de condensatoare,
rîndată direct pe capacul cuvei;

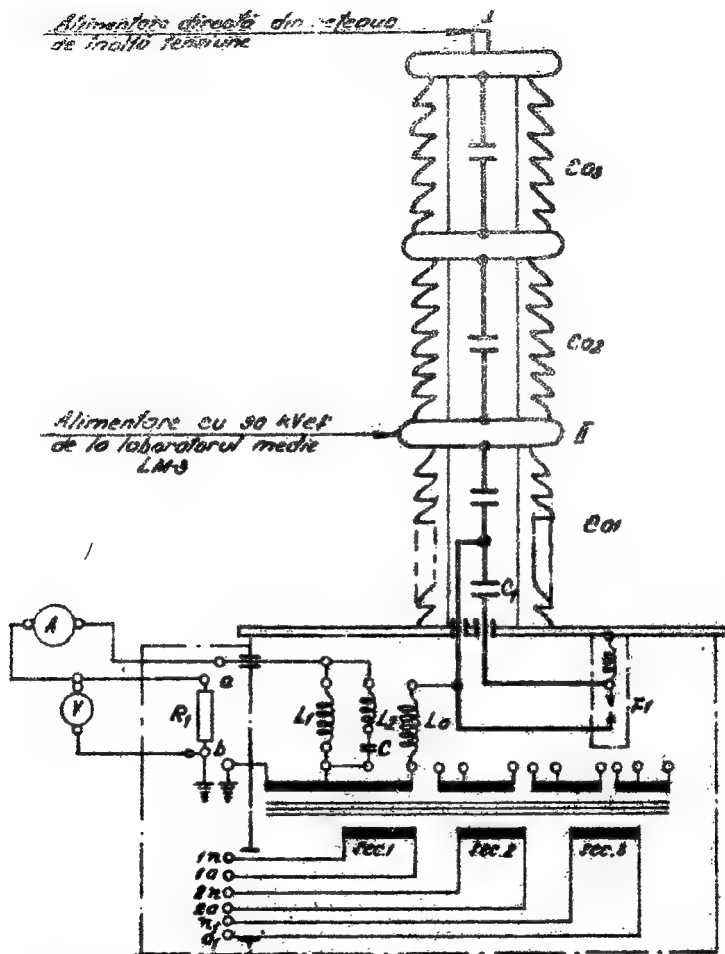


Fig.3.10.1. Schema de verificarea a circuitului anti-ferorezonant la transformatorul TECU-400 kV.
I - în cazul alimentării transformatorului direct la tensiunea rețelei, tensiunea se aplică pe borna de IT a transformatorului.
II - La alimentarea din sursă separată cu tensiune redusă (30 kV), tensiunea se aplică pe ultimul element al stivei de condensatoare.

b) pentru transformatoarele de tensiune capacitive conectate prin separator la barele stației sau pentru celulele de linie care permit cu ușurință conectarea și deconectarea (linii cu dublu circuit, consumatori de mică importanță, consumatori cu mai multe alimentări de rezervă etc.), verificarea circuitului antiferezonant se poate face atât prin alimentarea dintr-o sursă separată (metoda "a") la tensiune redusă, cât și prin alimentarea la tensiunea nominală, prin conectarea transformatorului direct la tensiunea rețelei (pct-I din fig.3.10.1., reprezentînd borna de înaltă tensiune a transformatorului).

Pentru verificarea căderii de tensiune pe rezistența R_1 și a curentului I_R , se utilizează următoarele aparate (fig. 3.10.1):

V - Voltmetru electromagnetic, de clasă 0,5 sau 1, cu următoarele domenii de măsură:

- o 150 V;
- o 300 V;

A - Miliampermetru electromagnetic de clasă 0,5 sau 1, cu următoarele domenii de măsură:

- o 0,1 A;
- o 1 A;
- o 5 A.

Ațit voltmetrul V, cît și miliampermetrul A se pot înlocui cu aparate universale cu redresare.

3.10.3. Execuția probei

a) Pentru transformatoarele de tensiune capacitive conectate prin separator, la care verificarea se poate face și prin conectare directă la tensiunea rețelei;

- se deconectează separatorul celulei de măsură (linie) și se montează scurtcircuitoare mobile la bornele de înaltă tensiune ale transformatoarelor capacitive de pe cele trei faze;

- se efectuează montajul voltmetrului V (în caz de necesitate și al miliampermetrului A) ca în fig.3.10.1. Pentru reducerea manevrelor de separator, este de dorit ca măsurarea să se facă simultan pe cele trei faze, prin montarea a trei voltmetre și a trei miliampermetre.

Racordarea miliampermetrului se face prin desfacearea conductorului care iese din interiorul cuvei la borna "a" a rezistenței cu silit și intercalarea aparatului între capătul acestuia și borna "a".

Pentru execuția legăturilor se vor utiliza conductoare cu papuci, cu stringerea acestora prin șuruburi.

Este interzisă utilizarea crocodililor pentru conectarea aparatelor, pentru a se preveni un scurtcircuit la bornele secundare ale transformatorului capacitiv, în cazul smulgerii unuia din firele de legătură.

- se demontează scurtcircuitoarele mobile de pe bornele de înaltă tensiune;

- se conectează din nou, prin separator, cele trei transformatoare la tensiunea rețelei și se citesc tensiunile U_R și curenții I_R , prin rezistența R_1 ;

- în caz că domeniile de măsură stabilite inițial, 0 - 300 V pentru voltmetru și 0 - 1 A pentru miliampermetru, nu sînt corespunzătoare, se repetă manevra de separator și se schimbă domeniul de măsură al aparatelor.

Este interzisă modificarea domeniului de măsură al aparatelor cu transformatoarele capacitive conectate la rețea.

b) Pentru transformatoarele capacitive conectate direct la bare (linie), la care verificarea se face dintr-o sursă separată:

- se separă bara (celula) de restul instalației sub tensiune;

- se montează scurtcircuitoare mobile pe bornele de înaltă tensiune ale transformatoarelor capacitive de pe cele trei faze;

- se demontează cordonalele de legătură de la bornele de înaltă tensiune ale celor trei transformatoare capacitive;

- se efectuează montajul voltmetrului și ampermetrului ca la pct. a;

- se conectează conductorul de înaltă tensiune al laboratorului mobil la ultimul element al stivei de condensatoare, fixat direct de cuva transformatorului (pct. II, din fig. 3.10.1.). În cazul transformatorului TRCU - 110 kV, punctul respectiv este chiar borna de înaltă tensiune a transformatorului;

- se alimentează pe rînd fiecare transformator cu 30 kV_{ef} și se citesc indicațiile aparatelor.

3.10.4. Interpretarea rezultatelor

Interpretarea rezultatelor se face în conformitate cu normativul PE 116/80, pct. 7.12., avînd în vedere următoarele elemente suplimentare:

- în cazul unui circuit antiferorezanant întrerupt, în funcție de tensiunea primară aplicată transformatorului, tensiunea U_R poate atinge următoarele valori, în timp ce curenții I_R este zero:

Tensiunea primară aplicată	U_R , V	I_R , A
U_n	>300	0
30 kV_{ef}	>150	0

- În cazul străpungerii (șuntării) rezistenței R_1 , căderea de tensiune U_R este zero, în timp ce curentul I_R , în funcție de natura defectului, poate avea următoarele valori:

Tensiunea primară aplicată	U_R , V	I_R , A	Defectul constat
U_n sau 30 kV_{ef}	0	$<0,1 \text{ A}$	Străpungerea (șuntarea) rezistenței R_1
		$>1 \text{ A}$	Deteriorarea lui C_1 , L_1 sau L_2 , urmată de străpungerea lui R_1

3.10.5. Măsură suplimentare de protecție a muncii

Aparatele de măsură se montează la sol, la o distanță de circa 3 m de suportul transformatoarelor capacitive.

Atâta timp cât se aplică înalta tensiune pe transformatoarele capacitive, este interzisă atingerea aparatelor de măsură sau comutarea domeniului de măsură. Comutarea domeniului de măsură se va face numai cu transformatoarele capacitive scoase de sub tensiune.

B. INSTRUȚIUNILE TEHNOLOGICE DE VERIFICARE
PREVENTIVĂ A TRANSFORMATOARELOR
DE CURENT

1. CLASIFICAREA TRANSFORMATOARELOR DE CURENT ȘI MARCAREA BORNELOR

Prezentele instrucțiuni au în vedere verificarea preventivă a tuturor tipurilor de transformatoare de curent de 6-400 kV existente în instalațiile sistemului energetic național. Acestea se pot clasifica astfel:

1.1. Din punct de vedere constructiv:

a) tipul suport, cu înfășurarea primară monospirală sau multispirală. În ce privește transformatoarele multispirale, acestea pot fi cu înfășurarea primară neocomutabilă sau comutabilă în una sau mai multe trepte, ca de exemplu, transformatoarele GESU-220-400 kV, care, având patru secțiuni primare, permit realizarea următoarelor conexiuni primare:

- paralel;
- serie-paralel;
- serie;

b) tipul de trecere, cu înfășurarea primară, tip bară, făcând parte integrantă din transformatorul de curent, sau fără înfășurare primară proprie, transformatorul de curent fiind format numai din înfășurarea (înfășurările) secundară care se montează direct pe barele de înaltă tensiune ale instalației.

1.2. Din punctul de vedere al condițiilor de funcționare:

a) pentru exterior, putând fi montate în instalații exterioare în care temperatura ambiantă poate varia, conform STAS 4324-70, între -30°C și $+40^{\circ}\text{C}$, iar umiditatea relativă poate fi de 100 % la 20°C ;

b) pentru interior, putând fi montate numai în încăperi închise, în care temperatura ambiantă variază între -5°C și $+40^{\circ}\text{C}$, iar umiditatea relativă nu depășește 70 % la 20°C ;

NOTĂ

Întrucât instalațiile în care sînt montate transformatoarele de tensiune de exterior pot fi situate și în zone poluate, la execuția probelor se vor indica mă-

surile suplimentare ce trebuie luate înainte de execuția probelor.

1.3. Din punctul de vedere al izolației de bază:

a) transformatoare uscate, la care întreaga construcție sau parțial, numai înfășurarea de înaltă tensiune sau înfășurarea de joasă tensiune sînt înglobate în rășină epoxidică sau în porțelan;

b) transformatoare în ulei, la care partea activă a transformatorului este inclusă în ulei electroizolant.

În ce privește transformatoarele în ulei, utilizate, în special, în exterior, acestea pot fi cu respirație liberă (uleiul din interiorul carcasi izolante fiind în contact direct cu aerul atmosferic) sau etanșe (etanșarea fiind realizată cu ajutorul unui burduf sau o membrană elastică de cauciuc care preia variațiile de volum ale uleiului din interior).

1.4. După numărul înfășurărilor secundare:

a) transformatoare cu o singură înfășurare secundară, pentru măsură (clasa 0,5 sau 1) sau protecție (clasa 5 P sau 10 P);

b) transformatoare cu două sau mai multe înfășurări secundare, în care una din înfășurări este utilizată pentru măsură și restul, pentru protecție.

NOTĂ.

În privința înfășurărilor secundare, acestea pot fi necomutabile (fără prize) sau comutabile, fiind prevăzute cu 1 + 3 prize care permit obținerea mai multor rapoarte de transformatoare pentru aceeași conexiune primară.

1.5. După curentul nominal al înfășurărilor secundare:

a) transformatoare pentru curentul secundar de 1 A;

b) transformatoare pentru curentul secundar de 5 A.

1.6. Din punctul de vedere al tensiunii primare:

a) transformatoare de medie tensiune de 6 - 35 kV, conectate în rețelele cu neutru izolat, compensat sau pus la pământ prin rezistență;

b) transformatoare de înaltă tensiune de 110-400 kV, conectate în rețele cu neutru legat efectiv la pământ.

Principalele tipuri de transformatoare de curent fabricate în prezent în țară sînt:

A. Pentru medie tensiune:

a) transformatoarele de curent CIRS de 10; 20 și 35 kV;

Transformatoare de interior, tip suport, cu izolație din rășini epoxidice, cu înfășurarea primară comutabilă în raportul 1 : 2 sau necomutabilă, pentru rapoarte de transformare între 15/5/5 A 600/5/5 A.

b) transformatoare de curent de trecere de interior, monospirale CIRT, CIRT₀, CIRT_{os}, CIRT_i de 10, 20 și 35 kV, 400 - 6000 A, a căror simbolizare are următoarea semnificație:

- C - transformator de curent;
- I - pentru interior;
- R - cu izolație din rășină epoxidică;
- T - tip de trecere;
- O - monospiral, cu bară de trecere rotundă și cu flanșă mediană de fixare;
- os - monospiral, cu bară de trecere rotundă (o) și picior median suport (s);
- i - monospiral, cu bară (bare) de trecere dreptunghiulară, de 1500 - 6000 A.

Transformatoarele de curent de tipul de trecere sînt prevăzute cu două înfășurări secundare de 5 A, din care una de măsură (clasa 0,5) și una pentru protecție (clasa 10 P).

NOTĂ.

Pînă în 1970, s-au fabricat în țară și transformatoare de curent de medie tensiune de interior, de trecere, cu izolație din porțelan, de tipul TTPM-10, CIPT-10, TITP-1-10, CIPT-1-10, CIPT-1-10b, CIPT-I-10 care se găsesc încă montate în instalațiile energetice. În prezent, transformatoarele de curent cu izolație de porțelan sînt scoase din fabricație;

c) transformatoarele de exterior, tip suport, CESU-35 kV, cu ulei.

B. Pentru înaltă tensiune:

a) transformatoare tip suport, de exterior, cu primar comutabil în raportul 1 : 2 sau fix, cu o înfășurare secundară de 5 A pentru măsură (clasa 0,5) și două înfășurări pentru protecție (clasa 10 P), cu ulei, tip CESU - 110 kV (cu respirație liberă) sau CESU_g - 110 kV (etanș).

b) transformatoare tip suport de exterior, cu primar comutabil în raportul 1 : 2 : 4, cu patru înfășurări secundare de 1 (5) A, din care una pentru măsură (clasa 0,5) și trei înfășurări pentru protecție (clasa 10 P) cu ulei, tip CERSU_k - 220 kV și CERSU_k - 400 kV.

Transformatoarele sînt de tip etanș, variația nivelului de ulei fiind preluată de un burduf de cauciuc situat în capul trafo.

NOTĂ.

La livrarea din fabrică, în cazul cînd nu se specifică expres prin contract, transformatoarele CERSU_k-220 kV și 400 kV au secțiunile primare conectate în serie (1600 A).

1.7. Marșarea bornelor

Atît în schemele de măsură, care alimentează aparate pentru măsurarea puterii active și reactive sau pentru înregistrarea energiei, cît și în schemele de protecție care alimentează relee de distanță sau direcționale, transformatoarele de curenți trebuie să asigure nu numai transformarea curentului primar cu o eroare garantată, dar și sensul corect de transformare.

Conform STAS 4324-70, bornele primare se notează cu literele P₁ și P₂, iar bornele secundare, cu S₁ și S₂.

NOTĂ.

La transformatoarele fabricate pînă la 1.01.72, bornele primare sînt notate cu K și L, iar bornele secundare, cu k și l.

În cazul transformatoarelor cu mai multe înfășurări secundare (CIRS-10-35 kV; CERSU-35 kV; CERSU-110 kV etc.), notația bornelor este ca în fig. 1.1.

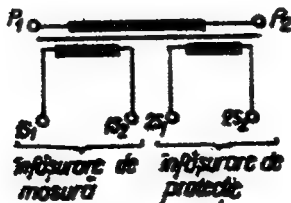


Fig.1.1. Marșarea bornelor, în cazul transformatorului CERSU-110 kV.

În cazul transformatoarelor cu mai multe înfășurări secundare prevăzute și cu prize, în vederea obținerii unei game mai mari de rapoarte de transformare (transformatoarele GESU_k - 220 și GESU_k - 400 kV), notația bornelor este ca în fig.1.2.

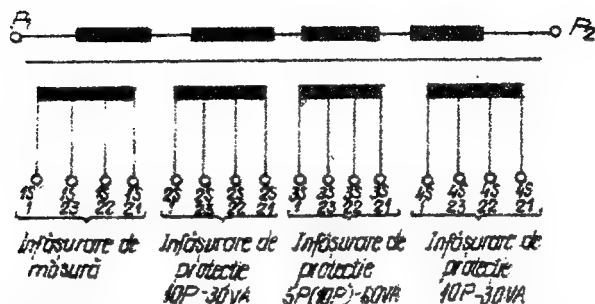


Fig.1.2. Marcarea bornelor, în cazul transformatoarelor GESU_k - 220 și GESU_k - 400 kV.

În funcție de conexiunea primară și de priza înfășurării secundare aleasă, aceste transformatoare oferă următoarea gamă de curenți nominali primari:

Conexiunea		Curentul nominal primar, A		
primară	paralel	1600	1200	1000
	serie-paralel	800	600	500
	serie	400	300	250
secundară	secundar 1	1S ₁ -1S ₂₁	1S ₁ -1S ₂₂	1S ₁ -1S ₂₃
	secundar 2	2S ₁ -2S ₂₁	2S ₁ -2S ₂₂	2S ₁ -2S ₂₃
	secundar 3	3S ₁ -3S ₂₁	3S ₁ -3S ₂₂	3S ₁ -3S ₂₃
	secundar 4	4S ₁ -4S ₂₁	4S ₁ -4S ₂₂	4S ₁ -4S ₂₃

2. PREGĂTIREA TRANSFORMATOARELOR PENTRU PROBE

Verificarea preventivă a transformatoarelor de curent se execută pe bază de autorizație de lucru, cu scoaterea parțială de sub tensiune a instalației (celula de linie, cuplă sau transformator în care sînt montate transformatoarele de curent ce urmează a se verifica).

Pe lângă măsurile tehnice și organizatorice prevăzute în "Normele de protecție a muncii pentru instalații electrice", pentru execuția acestei categorii de lucrări, în vederea asigurării corectitudinii și a reproductibilității rezultatelor, se impune luarea următoarelor măsuri pregătitoare, înainte de începerea verificărilor:

2.1. Separarea transformatoarelor de măsură de circuitele instalației

Atît în instalațiile exterioare, cît și în cele interioare separarea transformatoarelor trebuie efectuată atît pe partea de înaltă tensiune (prin separarea lui vizibilă din ambele părți cu ajutorul separatoarelor și prin demontarea legăturilor la bornele primare ale transformatoarelor), cît și pe partea secundară.

Separarea transformatorului pe partea de înaltă tensiune, prin demontarea legăturilor primare, se impune, în special, în cazul verificărilor de izolație, (măsurarea rezistenței de izolație, a t_g etc.), pentru a nu măsura în paralel cu obiectul verificat (transformatorul de măsură) și alte elemente ale stației, care pot falsifica măsurarea. Separarea numai prin deschiderea separatoarelor este insuficientă, intrucît t_g a izolatoarelor de porțelan armați cu chit sau ciment de armare este mult mai mare decît cea a transformatoarelor de măsură. Aceeași falsificare a rezultatelor se poate produce și în cazul separării prin deschiderea întreruptorului, din cauza t_g mult mai mare a uleiului de acționare a întreruptorului.

Din acest motiv, se recomandă ca cel puțin pentru instalațiile de 110 - 400 kV să se demonteze legăturile de la bornele transformatorului de măsură verificat, să se scurtcircuiteze legăturile și să se îndepărteze la cel puțin 1m de capul transformatorului verificat. Legăturile scurtcircuitate vor fi puse la pămînt de ambele părți ale transformatorului verificat.

În stațiile exterioare de 110-400 kV, în cazul transformatoarelor de curent situate sub cîmpul de bare al celei, pentru reducerea influențelor electrostatice și electromagnetice asupra obiectului încercat, în special la măsurarea t_g , se recomandă punerea la pămînt a cîmpului de bare în două puncte, prin închiderea cutitelor de punere la pămînt ale separatorului (în celele în care există separatoare cu cutite de punere la pămînt) sau prin montarea unui scurtcircuitor de punere la pămînt a cîmpului de bare din celulă.

Separarea legăturilor pe partea de joasă tensiune de circuitele stației se impune atît în cazul probelor de izolație care vizează înfășurările secundare (rezistența de izolație, măsurarea t_g în anumite scheme de măsură, încercarea cu tensiune marită a secundarelor etc.), cît și în cazul probelor care au drept scop integritatea și precizia de măsură (măsurarea rezistențelor ohmice, ridicarea caracteristicilor volt-ampermetrice, verificarea raportului de transformare etc.).

Prezența sarcinii secundare exterioare în cazul acestor probe conduce la denaturarea rezultatelor și la imposibilitatea comparării rezultatelor obținute cu cele din buletinele de fabrică sau inițiale.

Înainte de deconectarea legăturilor de la bornele secundare, este necesară etichetarea firelor ce urmează a fi demontate. În acest scop, se pot utiliza etichete din carton sau prespan legate cu sfoară la capătul fiecărui fir.

Pe etichetă se trece denumirea exactă a bornei de la care urmează să se dezlege conductorul.

2.2. Verificarea aspectului exterior

Operațiile de verificare diferă în funcție de tipul transformatorului de măsură:

a) pentru transformatoarele cu izolație de hirtie impregnată cu ulei, în cuvă metalică sau în carcasă izolantă:

- controlul nivelului de ulei, prin urcarea pe scară la nivelul indicatorului de ulei;
- verificarea stării garniturilor la capul trafo și la bază;
- verificarea lipsei fisurilor în carcasa de porțelan sau în cazul bornelor primare și secundare din porțelan;
- verificarea lipsei scurgerilor de ulei la capul trafo sau la bază și controlul strîngerii șuruburilor de fixare;

- verificarea stării bornelor de joasă tensiune (lipsa scurgerilor de ulei pe la garnituri și lipsa fisurării bolțurilor).

În cazul constatării scăderii nivelului de ulei, înainte de începerea probelor se face completarea transformatorului cu ulei electroizolant TB-30 mosu;

b) pentru transformatoarele cu izolație din rășină epoxidică (uscate):

- controlul stării exterioare a carcaseri în rășină epoxidică, pentru depistarea unor eventuale fisuri, crăpături sau urme de arc electric pe suprafața transformatorului;

- controlul stării bornelor primare și secundare.

În cazul în care se constată urme de rugină, clemele se curăță, iar șuruburile și piulițele se înlocuiesc cu altele noi.

2.3. Curățarea transformatoarelor se face în funcție de tipul lor, astfel:

a) pentru transformatoarele în ulei, de exterior:

- pentru instalațiile situate în zone lipsite de poluare industrială, curățarea constă în simpla ștergere cu o cârpă curată și uscată atât a capului trafo, cât și a carcaseri de porțelan. În cazul scurgerilor de ulei pe carcaseri, o curățare bună se poate obține prin ștergerea porțelanului cu o cârpă înmuiată în benzină de extracție (neofalină) sau alcool industrial;

- pentru instalațiile situate în zone cu poluare industrială, se recomandă execuția probelor cu ocazia operațiilor de reungere a carcaserilor de porțelan cu vaselină siliconică sau minerală;

- probele de izolație se vor efectua, de preferință, după îndepărtarea stratului de vaselină siliconică sau minerală saturat cu depuneri și înainte de aplicarea noului strat, pentru a nu se falsifica unii parametri ai izolației, ca de exemplu, rezistența de izolație și tg δ globală;

- în toate cazurile, ștergerea va fi efectuată pînă la îndepărtarea oricărei urme de umezeală de pe suprafața carcaseri de porțelan;

- în ce privește bornele secundare, acestea se vor șterge cu o cârpă uscată, pînă la îndepărtarea completă a prafului și a umidității;

b) pentru transformatoarele în rășină epoxidică din interior:

- operația de curățare constă în ștergerea lor cu o cârpă curată și uscată, pînă la îndepărtarea totală a prafului și a umidității de pe suprafața acestora și de pe bornele secundare.

2.4. Pregătirea locului de lucru și măsuri de protecție a muncii la execuția probelor

Pregătirea locului de muncă și execuția verificărilor preventive la transformatoarele de măsură se vor face în conformitate cu "Normele de protecție a muncii pentru instalațiile electrice", aprobate cu ordinul M.E.E., nr. 198/5-III-1971, ultima ediție.

Lucrările de la pct. 7.3.; 7.4.; 7.5.; 7.8.; 7.9. și 7.10. din normativul PE 116/80, la care este necesară alimentarea transformatorului dintr-o sursă independentă de tensiune mărită sau este posibilă apariția înaltei tensiuni pe înfășurarea primară, ca urmare a alimentării cu joasă tensiune a înfășurării secundare, necesită respectarea cu strictețe a cap. 16, "Norme de protecție a muncii specifice la executarea încercărilor profilactice în instalațiile electrice de înaltă tensiune, de la o sursă independentă de tensiune mărită, din "Normele de protecție a muncii". Pentru execuția verificărilor preventive la transformatoarele de măsură, trebuie respectate următoarele măsuri suplimentare:

- scoaterea de sub tensiune a echipamentului supus reviziei trebuie asigurată din toate părțile, prin separarea vizibilă de restul instalației/ rămasă în funcțiune. Zona de lucru se delimitează fizic, prin îngrădiri provizorii mobile și va fi prevăzută cu plăcuțe avertizoare.

- În cazul încercărilor în timpul cărora este posibilă apariția pe înfășurarea primară a unor tensiuni mai mari decât tensiunea lui nominală, este absolut necesară demontarea legăturilor de la borne, pentru asigurarea distanțelor minime necesare între părțile sub tensiune ale instalației și transformatorului încercat.

NOTĂ.

Separarea transformatorului prin demontarea legăturilor primare și secundare este impusă în cazul unor probe chiar de tehnologia încercării, pentru evitarea erorilor, așa cum s-a arătat și la pct.2.1.

- În cazul execuției verificărilor cu aparatura de încercări transportabilă, când schema de încercare se realizează chiar în imediata apropiere a transformatorului supus probei, atât obiectul încercat, cât și sursa de înaltă tensiune, conductorul de înaltă tensiune, ca și alte elemente ale schemei aflate sub înaltă tensiune în timpul încercării (de exemplu, condensatorul etalon, în cazul măsurii t_g), se vor îngrădi separat

și se vor monta plăcuțe avertizoare: STAI! ÎNALTĂ TENSIUNE!". În timpul încercării, zona respectivă va fi supravegheată în mod deosebit de unul din membrii echipei, care nu va permite accesul, în timpul probei, nici al membrilor echipei, nici al altor persoane care nu intră în componența echipei.

- Echipa de încercări va fi dotată, în mod obligatoriu, cu ștangă de punere la pământ, fără rezistență de limitare. În perioada de pregătire a probei, aceasta este montată pe borna primară a obiectului încercat sau pe borna de înaltă tensiune a sursei de înaltă tensiune. Ștanga se ridică la începerea încercării, la cererea responsabilului de lucrare. La terminarea unei încercări, după deconectarea vizibilă a alimentării schemei de încercare de la rețeaua de joasă tensiune, ștanga este pusă pe borna de înaltă tensiune de către responsabilul de lucrare care anunță întreaga echipă că tensiunea înaltă a fost deconectată. Numai după aceea se poate trece la schimbarea conexiunii obiectului încercat sau la demontarea montajului.

3. EXECUȚIA PROBELOR

Probele se execută, de preferință, în ordinea indicată în normativul PE 116/80.

În stabilirea ordinii probelor s-a avut în vedere frecvența mai ridicată a deteriorărilor de izolație, atât la PIF, cât și în exploatare. Din acest motiv, primele verificări vor fi cele care scot în evidență starea izolației transformatoarelor. Pentru evitarea unor defecțiuni ireversibile (străpungeri ale izolației), verificarea izolației va fi începută cu măsurătorile nedistructive, care pun în evidență starea izolației, și anume:

a) prelevarea uleiului electroizolant pentru probe la transformatoarele cu izolație internă formată din hârtie - ulei și la care Normativul PE - 116/80 prevede obligativitatea controlului curent la periodicitățile stabilite;

b) măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor;

c) măsurarea $tg \delta$ globale a izolației transformatoarelor de 110 - 400 kV, cu izolația internă hârtie-ulei.

Probale respective sînt sensibile la o degradare în ansamblu a izolației, ca de exemplu, umezirea uleiului sau a hîrtiei electroizolante (în special la transformatoarele cu respirație liberă).

3.1. Prelevarea uleiului electroizolant

3.1.1. Scopul probei

La transformatoarele cu izolație internă formată din hîrtie și ulei electroizolant se execută, după caz, controlul curent sau analiza redusă a uleiului electroizolant, în vederea depistării următoarelor cauze posibile de degradare a acestuia:

- umezirea lui în contact cu umiditatea ambiantă, mai ales în cazul transformatoarelor cu respirație liberă sau a celor cu filtru cu silicagel incorrect exploatat;
- oxidarea (îmbătrînirea) uleiului, datorită oxigenului din atmosfera ambiantă sau oxigenului dizolvat în ulei, urmată de apariția reziduurilor;
- poluarea lui, ca urmare a lipsei scurătății de execuție a transformatorului în fabrică, dizolvării în timp a unor materiale care intră în componența transformatorului sau a contaminării lui cu particule solide sau gaze existente în mediul ambiant.

În asociere cu celelalte probe nedistructive, care au în vedere starea izolației globale a transformatorului (rezistența de izolație și tg δ), verificarea uleiului permite tragerea unor concluzii corecte și în privința stării izolației solide, din hîrtie electroizolantă, a transformatorului.

3.1.2. Condițiile specifice impuse la recoltarea probelor

Recoltarea probelor de ulei se face, de regulă, în sezonul cald (aprilie - septembrie), la temperaturi ambiante între 10° și 30°C, pe timp uscat și frumos (umiditatea atmosferică relativă, sub 80 %), pentru a se evita contaminarea probei.

Se interzice recoltarea probelor pe timp de ploaie, ceață, brumă, vînt puternic și praf.

Recoltarea probelor de ulei se execută numai la transformatoarele de tensiune inductive de 110 - 220 kV și din cave inductive a transformatoarelor capacitive tip TSCU - 110 - 400 kV. Luarea probelor din condensatoarele etanșe ale transformatoarelor capacitive este interzisă.

Recoltarea probei de ulei se face, de preferință, imediat după deconectarea transformatorului (transformatorul de măsură este încă în stare caldă). În această situație, este de presupus că eventuala umiditate în transformator mai este încă cedată de mediul mai cald (bobinajul), mediului mai rece (uleiul de transformator).

3.1.3. Modul de recoltare a probei. Dispozitivul de recoltare

Probele se recoltează numai de la bușoanele speciale de golire și luare a probelor de ulei, situate la baza transformatoarelor.

a) Prelevarea uleiului din transformatearele de curent CESU - 110 kV

Prelevarea uleiului direct în sticlă

Operațiile ce se execută sînt următoarele:

- se fixează scara necesară electricianului care prelevează uleiul, dacă este necesar;
- se deșurubează capacul (de formă hexagonală) cu o cheie reglabilă sau fixă (de 32 mm, respectiv 36 mm, la transformatoarele de fabricație mai vechi);
- se șterge cu o cârpă curată bușonul filetat; nu se va utiliza bumbac pentru a nu rămîne scame care ar putea fi antrenate în sticla de recoltare;
- se slăbește șurubul cu cap hexagonal, pînă cînd începe să curgă ulei în jet continuu;
- se repetă operația de ștergerea a bușonului, de astă dată cu uleiul curgînd;
- se lasă să curgă cel puțin 2 l de ulei;
- se clătesc sticlele cu uleiul care se prelevează;
- se recoltează cantitatea necesară de ulei;
- se fixează dopul sticlei și se asigură contra căderii;
- se completează transformatorul cu ulei corespunzător.

Prelevarea uleiului cu un dispozitiv de recoltare auxiliar

În cazul în care nu este posibilă recoltarea uleiului direct în sticlă, datorită distanței insuficiente dintre bușonul de recoltare și suportul pe care se fixează transformatorul, se va utiliza un dispozitiv de recoltare a uleiului, care se montează după îndepărtarea capacului hexagonal (fig. 3.1.1.).

Operațiile ce se execută sînt următoarele;

- se deșurubează capacul și se șterge cu o cârpă bușonul filetat;
- se deșurubează puțin șurubul 8;
- se montează dispozitivul din detaliul A;
- se introduce o șurubelniță pentru deșurubarea șurubului 8;
- se lasă să curgă o cantitate de minimum 2 l de ulei;
- se dătește sticla cu ulei;
- se recoltează cantitatea de ulei necesară, introducînd furtunul în sticlă;
- se fixează dopul sticlei și se asigură contra căderii;
- se deșurubează dispozitivul de prelevare;
- se stringe șurubul 8;
- se remontează capacul hexagonal al bușonului de prelevare;
- se completează transformatorul cu ulei pe la partea superioară.

b) Prelevarea uleiului din transformatoarele de curent CESU-220 kV și CESU - 400 kV

La aceste tipuri de transformatoare, atît datorită tipului constructiv, cît și datorită modului de amplasare (fixare) pe stelaș, este posibilă recoltarea uleiului direct în sticlă, fără utilizarea unui dispozitiv de recoltare auxiliar.

Modul de prelevare este asemănător celui prezentat la subpt. "Prelevarea uleiului direct în sticlă".

Dacă nivelul uleiului scade mai mult de 10 mm, se va face completarea cu ulei corespunzător.

Operațiile necesare pentru completarea cu ulei sînt următoarele (fig. 3.1.2.):

- se deconectează capacul 1;
- burduful 3 se va fixa cu lăncișoarele 7;
- se îndepărtează căpăcelul purjorului de aer 8;
- se completează cantitatea necesară de ulei;
- se desfac lăncișoarele 7;
- se pliază burduful, purjîndu-se aerul de deasupra uleiului;
- se fixează garnitura 4;
- se montează căpăcelul 8, stringîndu-se cu atenție șurubul;
- se verifică nivelul de ulei;
- se montează capacul 1.

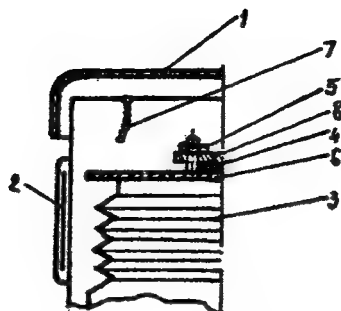


Fig.3.1.2. Completarea cu ulei a transforma-
toarelor CBSU - 220 - 400 kV: 1 - capacul
capului trafo; 2 - indicatorul de ulei;
3 - burduful; 4 - garnitura; 5 - șurubul de
strângere; 6 - orificiul de purjare a aeru-
lui sau de completare; 7 - lanțisorul cu ulei;
8 - căpăcelul de purjare a uleiului.

După prelevare, sticlele vor fi duse în timp cât mai scurt la laboratorul chimic sau electric, care va executa analizele.

Pentru o ușoară identificare a probei, sticla de ulei va fi prevăzută cu următoarea etichetă, lipită pe sticlă sau fixată de gîtul sticlei cu sfoară sau sîrmă:

I.R.E.	Data recoltării
Secția	Prilejul recoltării
Celula	Transformator
Tip trafo	- în funcțiune
Faza	- în rezervă
Seria	Numele celui care a
Anul de fabricație	recoltat preba

3.1.4. Măsurile specifice de protecție a muncii

- Scara se va monta numai după scoaterea de sub tensiune a transformatorului, separarea lui vizibilă de restul instalației și montarea scurtcircuitorului la borna de înaltă tensiune a transformatorului sau pe cordoanele de legătură primare.

- Scara se va asigura contra căderii de către un alt membru al echipei.

- În timpul prelevării probei, în cazul transformatoarelor montate la o înălțime mai mare de 3 m, electricianul care prelevează proba va fi asigurat contra căderii, prin utilizarea centurii de siguranță fixată de transformatorul de măsură respectiv.

NOTĂ.

- La transformatoarele de curent se interzice prelevarea probelor de ulei cu transformatorul în funcțiune, din următoarele motive:

- nu se pot asigura distanțele de izolare prescrie prin "Normele de protecție a muncii", cap. V, între părțile sub tensiune și locul de muncă;

- în cazul în care transformatorul are înainte de prelevare un nivel de ulei scăzut, este posibil ca, în timpul prelevării probei, să se producă o amorsare în interiorul transformatorului, urmată de explozia transformatorului.

3.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor

3.2.1. Scopul probei

Măsurarea are drept scop determinarea modificărilor care intervin în izolația transformatoarelor de măsură ca urmare a transportării, depozitării necorespunzătoare sau solicitării ei în exploatare.

În curent continuu, ca orice dielectric industrial, izolația formată din hîrtie electrotehnică și ulei electrozolant are o rezistență de izolație finită, permițînd trecerea unui curent de conducție permanent, chiar după ce fenomenul de polarizare instantanee sau lentă a dielectricului s-a produs (curentul de absorbție prin dielectric a devenit nul).

În exploatare, în locul curentului care străbate dielectricul, se preferă măsurarea rezistenței în curent continuu, la o tensiune de măsură dată, care este denumită rezistență de izolație.

Scăderea rezistenței de izolație în exploatare se poate datora următoarele cauze:

- umezirea parțială sau totală, în timp, a izolației;
- impurificarea izolației interne a transformatoarelor de măsură cu produsele rezultate, ca urmare a degradării uleiului electroizolant în timp;
- existența unei căi conductoare, sub forma unui traseu carbonizat, al unei conturnări sau străpungeri.

3.2.2. Aparatura și metodologia de măsură

Măsurarea rezistenței de izolație la PIF și în exploatare se execută, în principal, cu următoarele aparate:

- megohmmetrul de 2500 V;
- aparatul pentru măsurarea rezistenței de izolație, tip XS-1 (Ganz).

a) Execuția măsurării cu megohmmetrul de 2500 V

Pentru măsurare, se pot utiliza megohmmetrele cu manivelă de 2500 V, de fabricație sovietică, de tip MS-o5, MS-o6 și MS-o8.

Schema de principiu a megohmmetrului este dată în fig.3.2.1.

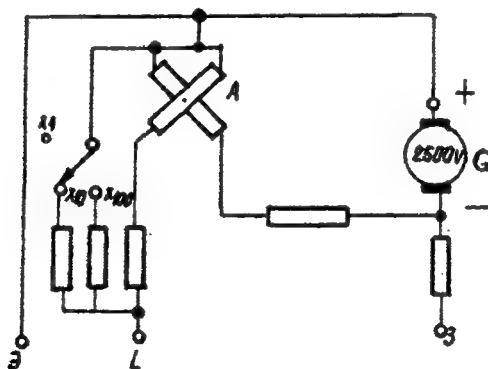


Fig.3.2.1. Schema de principiu a megohmmetrului MS-o6: G - generatorul de curent continuu, cu manivela cu turație constantă de 120 rotații/min; A - aparatul indicator de tip logometru magnetoelectric etalonat direct în megohmi; L - borna de linie a aparatului; 3 - borna de pământ; 3 - borna ecran pentru devierea curenților de fugă adiționali.

Pentru conectarea megohmmetrului la transformatorul de măsură verificat se utilizează cordonale proprii ale aparatului.

În cazul în care nu mai există cordonale originale, ele se pot confecționa din conductor de bujie tip VAL sau VAY. Cordonalele vor fi prevăzute cu papuci la ambele capete.

Pentru operativitate, măsurarea se poate efectua prin atingerea bornelor obiectului verificat. În acest caz, se pot utiliza testeri special confecționați, care se fixează la cordonalele de măsură. În fig.3.2.2. este prezentat un astfel de tester:

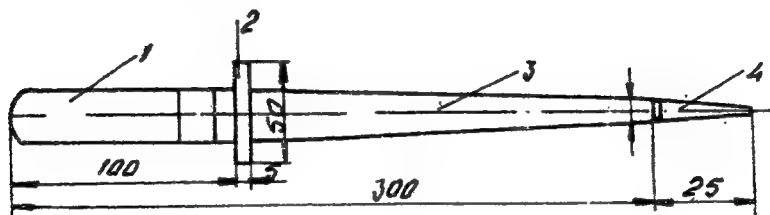


Fig. 3.2.2. Testerul (ștanga) pentru măsurarea rezistenței de izolație: 1 - mineral izolant; 2 - opritorul; 3 - partea izolantă; 4 - vârful metalic asamblat prin înșurubare.

Testerii se pot confecționa din bachelită, plexiglas, PVC, vinidur, duramid etc.

Schema principală de conectare a megohmmetrului, la verificarea transformatorului de măsură verificat, este dată în fig.3.2.3.

b) Execuția măsurării cu aparatul pentru măsurarea rezistenței de izolație tip XS-1 (Ganz).

Aparatul este un megohmmetru cu citire directă, care permite măsurarea intensității curentului la o tensiune continuă dată.

El se compune dintr-o sursă formată dintr-un redresor multiplicator de tensiune tranzistorizat, care furnizează tensiune de încercare stabilizată și un circuit de măsură.

Aparatul poate furniza trei tensiuni de măsură a rezistenței de izolație de : 1000 V; 2500 V; și 5000 V.

Schema principală de conectare a aparatului pentru măsurarea rezistenței de izolație la transformatorul de măsură verificat este dată în fig.3.2.3.

3.2.2.1. Condițiile de execuție a probei

- Măsurarea se execută numai după deconectarea tuturor legăturilor externe primare și secundare.
- Megohmmetrul se plasează în imediata vecinătate a locului de montaj al transformatorului de măsură.
- Megohmmetrul se va așeza în timpul încercării pe o platformă izolantă uscată.
- În timpul încercării, cordonalele se vor suspen-
da în aer, nu se vor atinge între ele și nici de alte obiecte aflate pe pământ.

- Așa cum rezultă din fig.3.2.3.b și c, în cazul măsurării rezistenței de izolație între înfășurări, pentru reducerea erorilor datorate curenților de scurgere adiționali (curenți de fugă pe suprafața carcasi de porțelan, curenți de scurgere prin izolația înfășurărilor spre cuvă etc.), care pot șunta circuitul bobinei în serie a aparatului, se recomandă conectarea cuvei metalice (soclului) transformatorului la borna "ecran" a megohmmetrului.

În cazul măsurării unor rezistențe de izolație scăzute, legarea cuvei la borna "ecran" permite aducerea unor precizări în ce privește cauza scăderii izolației, umezirea izolației interne, murdărirea sau umezirea bornelor secundare etc.

- Înainte de începerea măsurării, se verifică starea megohmmetrului:

- indicarea valorii "zero" la legarea în scurt-circuit a bornelor "linie" și "pământ". În caz de necesitate, se reglează poziția zero a acului indicator;

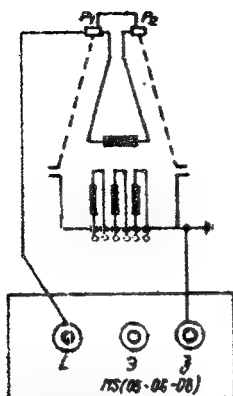
- indicarea valorii "infinit", la funcționarea în gol a megohmmetrului (cu bornele libere).

- Măsurarea constă în verificarea succesivă a rezistenței de izolație dintre fiecare înfășurare și soclul metalic (cuvă), precum și între înfășurări, utilizându-se, după caz, schemele din fig.3.2.3.a,b,c sau d.

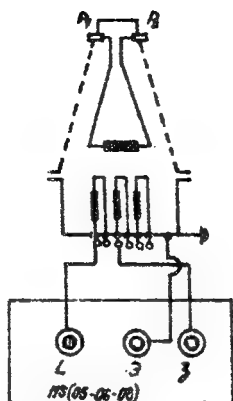
- În cazul în care unul din punctele între care se efectuează măsurarea este conectat rigid la pământ, acesta se va lega la borna "pământ" (3).

3.2.3. Interpretarea rezultatelor

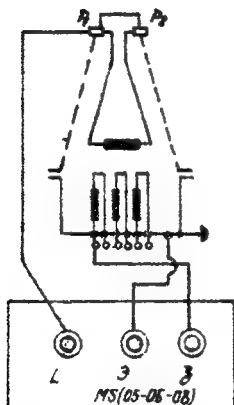
Atît curențul de conducție, cît și rezistența de izolație a unui dielectric depind de dimensiunile lui geometrice. Din acest motiv, pentru compararea valorilor obținute la PIF și în exploatare ar trebui normate valori limită nu numai pentru fiecare tip de transformator de măsură în parte, dar și pentru fiecare sche-



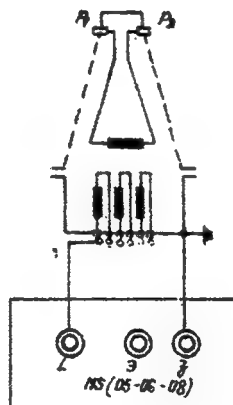
a) între înfășurarea de înaltă tensiune și sacul (bună)



c) între secundare între două cte. două



b) între înfășurarea de înaltă tensiune și fiecare înfășurare secundară



d) între fiecare secundar și cunet

Fig.3.2.3. Măsurarea rezistenței de izolație la transformatoarele de curent cu megohmmetrul cu manivelă.

mă de măsură posibilă. Avînd în vedere aceste aspecte, valorile măsurate pentru rezistența de izolație nu se pot compara decît cu valori măsurate anterior pe același aparat sau pe aparate de același tip.

În interpretarea rezultatelor trebuie să se țină seama de temperatura transformatorului în momentul măsurării, știut fiind că rezistența de izolație scade relativ mult cu creșterea temperaturii. Din acest motiv, se recomandă efectuarea măsurătorilor la temperaturi cuprinse între 10°C și 30°C .

3.2.4. Măsurile specifice de protecție a muncii

Întrucît tensiunea de încercare, în cazul măsurării rezistenței de izolație, este de 2,5 kV, se respectă normele de protecție a muncii specifice la încercarea cu tensiune mărită.

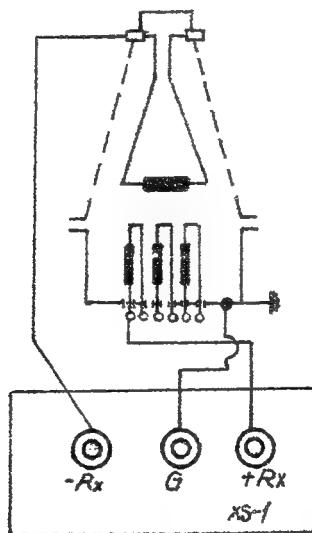


Fig.3.2.4. Măsurarea rezistenței de izolație la transformatoarele de curent, cu aparatul XS-1.

După pregătirea aparatului pentru probe, se trece la execuția măsurării rezistenței de izolație, după metodologia de la pct.3.2.2.a.

3.3. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ($\text{tg } \delta$) ale izolației principale

3.3.1. Scopul probei

Conform normativului PE 116/80, proba se execută la transformatoarele de curent de 110 - 400 kV, cu respirație liberă sau etanșe.

Ca și celelalte probe care au drept scop stabilirea modificărilor intervenite în starea generală a izolației transformatoarelor cu izolație hirtie-ulei (rezistența de izolație și calitatea uleiului electroizolant), măsurarea $\text{tg } \delta$ are drept scop depistarea, în principal, a unei eventuale umeziri a izolației interne a transformatoarelor cu respirație liberă, la care uleiul este în contact direct cu aerul atmosferic (transformatorul CESU-110 kV) sau a transformatoarelor etanșe (transformatoarele CESU_k-220 și 400 kV și transformatorul CESU_g-110 kV), la care variațiile

de volum ale uleiului sînt preluate de către un burduf de cauciuc.

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice, cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de factorul de pierderi dielectrice, este definită prin raportul dintre componenta activă și reactivă a curentului care străbate un material electroizolant:

$$\text{tg } \delta = \frac{I_a}{I_r}$$

În cazul hirtiei electroizolante impregnată cu ulei și umezită, componenta activă a curentului ce străbate izolația crește mult, conducînd la o creștere proporțională a $\text{tg } \delta$.

Intrucît, în funcție de condițiile ambiante și de încărcarea transformatorului, mediul cel mai umed poate fi izolația de hirtie sau uleiul electroizolant, este necesar ca toate probele care vizează umezirea transformatorului, și anume:

- rezistența de izolație;
 - prelevarea uleiului pentru verificarea rigidității dielectrice;
 - măsurarea $\text{tg } \delta$
- să se facă asociat.

La echipamentele cu izolație internă formată din hîrtie electroizolantă impregnată cu ulei, tg \int pune în evidență, în egală măsură, modificările intervenite ca urmare a îmbătrînirii termice a hîrtiei electroizolante.

Factorul de pierderi dielectrice global al izolației transformatoarelor de măsură este influențat de calitatea uleiului electroizolant cu care acestea sînt umplute, care poate prezenta valori foarte ridicate în exploatare, ca urmare a oxidării lui în prezența oxigenului atmosferic sau a umezirii lui peste anumite limite, în prezența umidității ambiante.

Din acest motiv, analiza rezultatelor verificărilor de izolație trebuie făcută pe ansamblul probelor nedistructive.

3.3.2. Scheme care permit măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele de curent

a) Scheme pentru măsurarea transformatoarelor de curent CESU - 110 kV

Conexiunea cea mai des utilizată la măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele de curent este înfășurarea de înaltă tensiune scurtcircuitată față de secundarele scurtcircuitate legate la soclul metalic (cuvă), la care se conectează și eventualele ecrane existente, adică:

i.t.- j.t. + C + E

Această conexiune, recomandată de vechile norme VDE pentru transformatoarele de curent, este preluată de majoritatea firmelor care livrează punți pentru măsurarea factorului de pierderi dielectrice.

Aceeași schemă de măsură a fost adaptată și de fabrica producătoare (I.E.P.C.) pentru tipul respectiv de transformator (suport, fără ecranare interioară a înfășurărilor secundare și cu divizarea izolației principale de hîrtie electroizolantă, pe înfășurarea primară și pe înfășurările secundare).

Conexiunea respectivă permite determinarea unei tg \int globale, cuprinzînd atît starea hîrtiei electroizolante, cît și a uleiului. Conexiunea este foarte avantajoasă din următoarele motive:

- necesită un număr redus de măsurători;
- permite utilizarea unei scheme normale la puntea

de măsură, mult mai ușor de ecranat și manipulat, determinările fiind mult mai puțin eronate de influențele electrostatice și electromagnetice exterioare. Singura condiție impusă de această schemă este izolarea transformatorului față de pământ, pe durata probei.

O schemă similară se poate adopta și în cazul măsurării transformatoarelor reparate sau recondiționate în atelier, având în vedere că, pentru a nu influența rezultatele, este suficientă introducerea sub soclul transformatorului a unei plăci de sticlotextolit sau pertinax de 1 cm grosime și care să asigure următoarele condiții de izolare:

- o rezistență de izolație față de pământ a transformatorului de $10\text{ M}\Omega$;

- o tensiune de ținere de 50 Hz - 1 min de 2 kV.

În fig. 3.3.1. este dată schema normală a punții de înaltă tensiune.

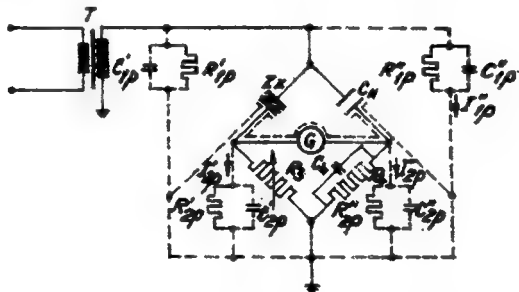


Fig.3.3.1. Schema normală a punții: T - transformatorul de alimentare; G - indicatorul de echilibru; Zx - obiectul de măsurat; C_N - condensatorul etalon; C'_{1p} , C''_{1p} , R'_{1p} , R''_{1p} - capacitățile și rezistențele parazite datorate conductorului de înaltă tensiune; C'_{2p} , C''_{2p} , R'_{2p} , R''_{2p} - capacitățile și rezistențele parazite dintre conductoarele de legătură ale obiectului și condensatorului etalon la punte, față de ecrane, precum și ale brațelor R_3 și R_4 ale punții față de ecran.

În aceeași figură au fost indicați și curenții paraziți care se scurg, sub influența tensiunii proprii

de alimentare a punții, prin capacitățile parazite, dintre firul de înaltă tensiune și brațele ecranate R_3 și R_4 ale punții (I_{lp}' și I_{lp}''), precum și curenții I_{2p}' și I_{2p}'' care se scurg prin capacitățile parazite ale firelor de legătură cu puntea ale obiectului de încercat, și ale condensatorului etalon. În privința curenților I_{lp}' și I_{lp}'' , în cazul punților actuale în care brațele 3 și 4 ale punții sînt ecranate printr-un înveliș metalic pus la pămînt, aceștia se scurg direct la pămînt, fără a mai produce o falsă dezechilibrare a punții, prin închiderea lor la pămînt prin brațele R_3 și R_4 ale punții. O ecranare a conductorului de înaltă tensiune, prin utilizarea unui conductor de bujie, introdus într-o tresă metalică pusă la pămînt, reprezintă o soluție de reducere aproape totală a acestor surse de erori pentru o tensiune de alimentare a punții de 10 kV. În schimb, rămîn în continuare ca sursă de erori capacitățile parazite datorate conductoarelor C_x și C_N de legare la punte, ca și capacitățile dintre brațele R_3 și R_4 ale punții și ecranul metalic al acesteia.

Aceste erori sînt compensate în cazul unor punți de precizie (Tottex, Hartmann Braun, Siemens sau chiar puntea de laborator sovietică R-525), prin aplicarea unui potențial adecvat pe ecranul interior al punții (punți prevăzute cu dublă ecranare atît pentru elementele punții, cît și pentru cordonalele de legătură C_x și C_N).

În cazul punților de teren MD-16 și R-595, care nu sînt prevăzute cu regulator al potențialului de gardă, aceste capacități parazite necompensate conduc la unele erori dependente, într-o oarecare măsură, de lungimea conductoarelor C_N și C_x . Astfel se explică unele valori diferite ale $tg \delta$ la măsurarea unor transformatoare de curent în exploatare, cu punțile de teren MD-16 și R-595, față de valorile din fabrică. Una din căile de reducere a acestor erori este utilizarea unor cordonale de legătură la punte pentru C_x și C_N , de capacitate dată, prospectele acestor punți limitînd lungimea conductoarelor C_x și C_N , astfel încît eroarea de măsură a $tg \delta$ să nu fie prea ridicată, în cazul unor valori sub 0,5 %.

La măsurătorile efectuate în stațiile electrice de transformare, pe lîngă erorile datorate curenților parazitari proprii schemei de măsură, pot apare unele erori mult mai mari datorită influențelor electrostatice și electromagnetice.

Schema normală asigură, de obicei, o bună ecranare față de sarcinile electrice apărute pe întreg circuitul, ca urmare a inducției electrostatice. În mod normal, sarcinile electrice apărute pe partea de înaltă tensiune a punții se scurg la pământ, aproape în totalitate, prin transformatorul de alimentare, iar partea de joasă tensiune a punții este protejată de ecranul pus la pământ. Unele probleme de ecranare le ridică obiectul de încercat, și anume soclul metalic și bornele secundare care, în general, nu se pot ecrana.

Pentru excluderea acestor influențe se face, de obicei, a doua măsurare a t_g , prin inversarea fazei tensiunii pe obiect (tensiunea de alimentare a schemei), fie prin schimbarea sensului curentului din înfășurarea de joasă tensiune a transformatorului de alimentare, așa cum prevăd prospectele celor mai multe punți de teren, fie prin alimentarea instalației de măsură de la o altă fază.

În cazul unor influențe electrostatice puternice, se poate întâmpla ca pe una din polarități unghiul δ să fie negativ, majoritatea punților fiind prevăzute cu comutatorul special al condensatorului C_4 și indicând formulele de calcul pentru acest caz.

În privința influențelor electromagnetice, punțile de teren sînt, în principiu, ecranate contra curenților induși de circuitele de înaltă tensiune ale stației, direct în brațele R_3 și R_4 ale punții, ca și în circuitele indicatorului de nul. Ca o măsură suplimentară se prevede, de obicei, schimbarea sensului curentului în indicatorul de nul. În cazul unor cîmpuri electromagnetice puternice, măsurile respective nu sînt suficiente, fiind necesară o serie de măsuri suplimentare ca: schimbarea poziției punții și a cordonelor de legătură cu 180° , îndepărtarea punții de sursele de perturbății și, în cazurile de influențe puternice, chiar întreruperea celulelor vecine.

Pentru adaptarea aceleiași conexiuni la determinarea t_g la transformatoarele de curent din exploatare, care nu au soclul izolat față de pământ, utilizarea schemei normale nu mai este posibilă.

În astfel de cazuri se utilizează schema "răsturnată" a punții de înaltă tensiune, realizabilă cu ajutorul punților de teren (fig. 3.3.2. și 3.3.3.) și care permite măsurarea obiectelor cu un electrod pus la pământ.

Deși punțile de teren, funcționînd în schemă răsturnată, sînt prevăzute cu un dublu ecran (un ecran

interior, care ecranează brațele R_3 și R_4 ale punții, inclusiv indicatorul de echilibru, este legat la borna de înaltă tensiune a transformatorului, iar cel de-al doilea, exterior, este reprezentat chiar de cutia metalică a punții, care se leagă la pământ), erorile, în cazul utilizării acestei scheme, sînt mai mari decît în cazul schemei normale, din următoarele motive:

- conductoarele de legătură C_X și C_N sînt simplu ecranate (ecranul sub tensiune);

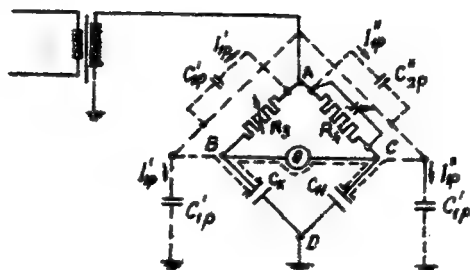


Fig.3.3.2. Schema răsturnată a punții.

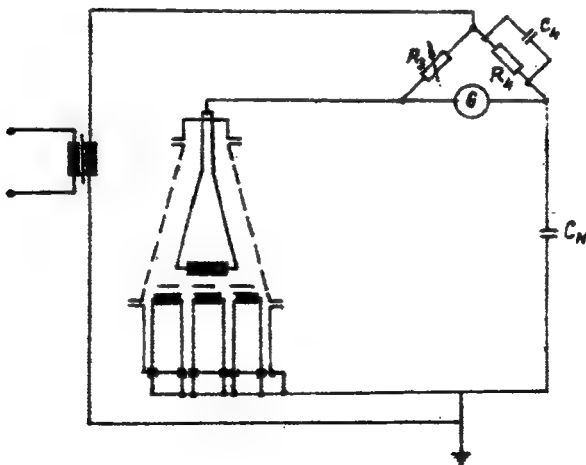


Fig.3.3.3. Măsurarea $\text{tg } \delta$ la transformatorul de curent CERSU - 110 kV, în schema răsturnată a punții.

- imposibilitatea ecranărilor corecte ale bornelor de înaltă tensiune ale obiectului verificat. În cazul transformatoarelor de măsură, cele mai puternice influențe se constată în zona capului trafo situat, de obicei, la distanța cea mai mică față de borne sau circuitele vecine sub tensiune, care reprezintă sursele principale de perturbații.

Din acest motiv, utilizarea schemei inversate, în condițiile unor cimpuri perturbatoare puternice, poate conduce la apariția unor unghiuri negative de pierderi sau chiar la imposibilitatea măsurării lor, cu toate măsurile propuse, aceleași ca la o schemă normală (schimbarea fazei sau sensului tensiunii de alimentare, schimbarea polarității indicatorului de nul, schimbarea poziției punții etc.), fiind necesară întreruperea circuitelor vecine care produc perturbații.

Trebuie menționat că, pe lângă aceste dezavantaje, schema inversată prezintă și un oarecare risc în manipulare, brațele R_3 și C_4 ale punții, care sînt manipulate pentru obținerea echilibrului punții, ca și cordonalele de legătură la C_X și C_N fiind sub înaltă tensiune.

Din acest motiv, multe firme au adoptat, pentru realizarea punților de teren, schema punții cu diagonale, pusă la pămînt.

Această schemă permite măsurarea $tg \delta$ la obiecte avînd un electrod pus la pămînt, însă necesită:

- o dublă ecranare a întregii scheme (inclusiv transformatorul de alimentare și conductorul de înaltă tensiune);

- compensarea obligatorie a capacității parazite.

În afară de conexiunea uzuală a transformatorului CESU-110 kV prezentată în fig. 3.3.3. și care permite o determinare globală a $tg \delta$, unii autori propun o determinare a acestui indice de izolație în conexiunile:

- i.t. - j.t. (cuva pusă la pămînt);

- i.t. - cuvă (secundarele puse la pămînt), în primul caz ponderea avînd-o izolația de hirtie impregnată iar în al doilea caz, uleiul din transformator. Aceasta ar permite o analiză mai corectă a stării izolației transformatorului verificat, însă cu o manoperă suplimentară.

b) Scheme pentru măsurarea transformatoarelor de curent CESU - 220 kV

Spre deosebire de transformatorul CESU-110 kV, transformatorul CESU - 220 kV are întreaga izolație

principală plasată pe înfășurarea primară. Pentru uniformizarea câmpului în dielectric, peste izolația înfășurării primare este plasat un ecran conectat la borna "tg δ " din cutia de borne secundare. Prin intermediul acestei borne, ecranul este pus la pământ prin execuția unei legături între borna "tg δ " și borna "4" din cutia de borne.

Datorită acestei borne speciale pentru măsurarea tg δ , este posibilă verificarea izolației înfășurării de înaltă tensiune separat, în conexiunea:

i.t. ecran (j.t. + cuva + pământ).

Măsurarea este posibilă în schema normală a punții (fig. 3.3.1.), ceea ce reduce mult erorile datorate influențelor electrostatice și electromagnetice, la măsurătorile efectuate în instalațiile energetice.

În aceeași conexiune sînt executate și măsurătorile în faurică.

c) Scheme pentru măsurarea transformatoarelor de curent CESU - 400 kV

Singura conexiune posibilă, pentru transformatoarele CESU - 400 kV, la măsurarea tg δ este:

i.t. - cuvă + ecran + j.t.,

întrucît transformatorul de 400 kV cu izolația principală divizată între primar și secundar are înfășurările secundare montate în interiorul unui ecran tîrtoidal de aluminiu, legat la cuva (soclul) transformatorului.

Pentru măsurarea în fabrică se utilizează aceeași schemă normală a punții, prin izolarea transformatorului verificat față de pământ.

Pentru transformatoarele montate în instalații, schema utilizată în momentul de față este răsturnată, cu mențiunea că, în condițiile de influențe puternice, atît electrostatice, cît și electromagnetice, existente în stațiile de foarte înaltă tensiune, măsurarea nu este totdeauna posibilă.

3.3.3. Condițiile în care se execută măsurarea

Condițiile în care se execută măsurarea tg δ la transformatoarele de măsură sînt date în normativul PE 116/80.

Față de această, trebuie făcute în plus următoarele precizări:

a) măsurarea se execută numai după ce toate legăturile exterioare la transformatorul ce urmează a fi verificat atît pe partea primară, cît și pe cea secundară, au fost îndepărtate;

b) măsurarea se execută numai pe timp frumos și uscat (temperatura ambiantă mai mare de 10°C și umiditatea sub 80 %), în caz contrar, rezultatele putînd fi eronate datorită umezirii bornelor secundare sau carcasi de porțelan.

În timpul probei este necesar ca temperatura uleiului din transformator să fie cuprinsă între 10°C și

30°C , valori limită prevăzute în normativ. Măsurarea exactă a temperaturii uleiului nu este necesară, ea putînd fi apreciată în funcție de următorii factori:

- temperatura ambiantă;
- timpul scurs de la deconectarea celei pînă la execuția probei;
- sarcina înainte de deconectare.

Nu se pot executa măsurători pe timp de burniță, ceață, rouă, brumă etc.;

c) înainte de începerea măsurătorii, se curăță suprafața carcasei de porțelan, de preferință cu alcool, și se șterg bornele de joasă tensiune, pînă la uscarea lor completă;

d) în mod normal, măsurarea t_g trebuie făcută la tensiunea nominală a transformatorului, aceasta fiind, de obicei, tensiunea la care se fac determinările și în fabrică.

În lipsa unor condensatoare etalon transportabile, pentru această tensiune măsurarea în exploatare se va face la tensiunea de 10 kV , pentru transformatoarele de măsură de 110 kV .

La atelierele de transformatoare, care pot fi dotate cu condensatoare etalon de înaltă tensiune, este necesar ca măsurarea să se execute la 10 kV și la tensiunea nominală a obiectului încercat;

e) toate obiectele sau aparatele aflate în apropierea transformatorului ce urmează a fi verificat, inclusiv transformatoarele de măsură de pe fazele vecine sau cordonale de legătură deconectate, se pun la pămînt.

3.3.4. Execuția măsurării

a) Măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatorul CESU - 110 kV

Măsurarea $\tan \delta$ cu puntea MD-16

Pentru măsurare se utilizează puntea MD-16 și condensatorul etalon de 50 pF-10 kV.

Conexiunea transformatorului în timpul măsurării este:

î.t. - sec. + soclul la pământ, iar montajul punții se face în schema răsturnată (fig. 3.3.4.).

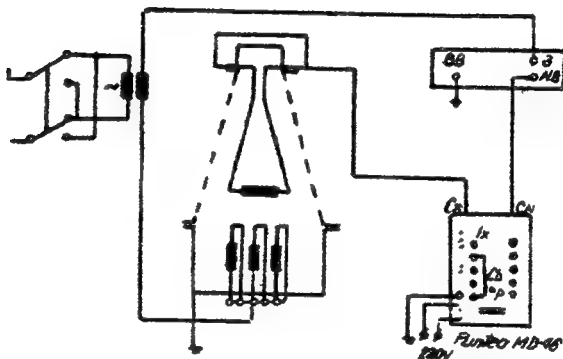


Fig.3.3.4. Măsurarea $\tan \delta$ la transformatoarele de curent CESU - 110 kV, cu puntea MD-16, în schema răsturnată.

Instalația punții se va face cât mai departe de circuitele vecine rămase sub înaltă tensiune și se vor suspenda firele C_N și C_X , izolându-le față de obiectele puse la pământ, cu ajutorul unor suporturi izolante sau prin întinderea lor cu benzi izolante de polietilenă.

Având în vedere tensiunea destul de scăzută pentru măsură (10 kV), trebuie să se dea o atenție deosebită sensibilității galvanometrului de vibrație, care trebuie verificat și pus la pământ înaintea fiecărei campanii de măsurători.

Se alimentează schema de joasă tensiune (fază-nul). Se echilibrează puntea și se constată influența schimbării polarității la galvanometrul de vibrație, notându-se ambele valori ale $tg \delta$.

Se schimbă sensul curentului de alimentare de joasă tensiune (nul-fază), reechilibrându-se puntea și verificând din nou influența schimbării polarității la galvanometru.

Valoarea reală a $tg \delta$ este dată de media aritmetică a celor patru citiri, așa cum se indică și în prospectul punții.

În caz că nu se obține echilibrarea perfectă a punții, valorile determinate pentru R_3 și $tg \delta$ sînt foarte diferite sau pentru unul din sensurile curentului de alimentare se obțin unghiuri negative ($-tg \delta$), se schimbă faza tensiunii de alimentare, executînd, și în acest caz, o a doua măsurare, prin inversarea fazei cu nulul rețelei.

Dacă toate aceste măsuri se dovedesc insuficiente, se mută poziția și orientarea punții și a cordoanelor de legătură C_X și C_N .

Numai după epuizarea acestei metode de eliminare a influențelor, în cazul în care între părțile sub tensiune și transformatorul încercat sînt distanțe mai mici de 6 - 8 m, se trece la una din următoarele măsuri:

- deconectarea circuitului vecin perturbator;
- demontarea transformatorului și montarea lui într-o altă zonă a stației, ferită de influențe perturbatoare.

Măsurarea cu puntea R-595

Pentru măsurare se utilizează puntea R-595 și condensatorul etalon de 50 pF-10 kV montate în schema răsturnată (fig.3.3.5.), utilizînd aceeași conexiune a transformatorului verificat ca mai sus.

Se fixează comutatorul B pe primul domeniu ($3.10^{-3} \dots 6.10^{-3}$) μF .

Atît montajul punții, cît și măsurile pentru evitarea influențelor exterioare sînt aceleași ca în cazul utilizării punții MD-16.

Ca și în cazul de mai sus, valoarea $tg \delta$ reale este dată ca media aritmetică a celor patru determinări.

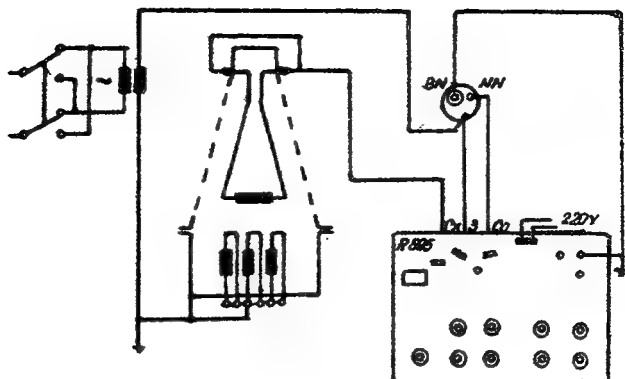


Fig.3.3.5. Măsurarea $\text{tg } \delta$ la transformatoarele de curent CESU - 110 kV, cu puntea R-595, în schema răsturnată.

b) Măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele CESU - 220 kV

În lipsa unor punți cu dublă ecranare a întregii scheme, măsurarea se poate efectua și cu punțile de teren existente (MD-16 și R-595) în schema normală.

În fig. 3.3.6.a este dată schema de măsură a transformatorului CESU-220 kV, utilizând puntea MD-16

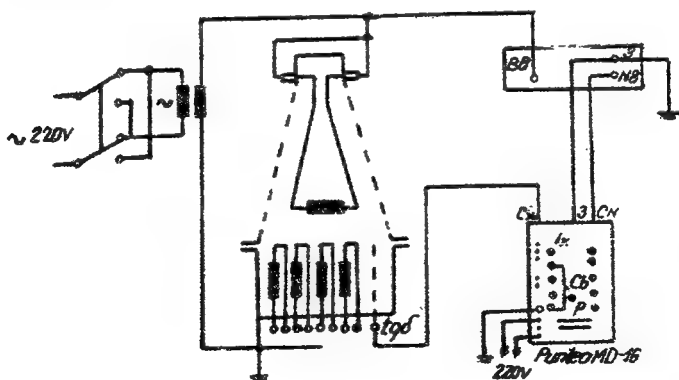


Fig.3.3.6.a. Măsurarea $\text{tg } \delta$ la transformatoarele de curent CESU-220 kV cu puntea MD-16, în schema normală.

și în fig. 3.3.6. b., schema de măsură utilizând puntea R-595. Înainte de execuția măsurării, este necesar să se demonteze legătura dintre borna tg δ și \perp .

La terminarea măsurării, se va reface legătura dintre borna tg δ și \perp , verificând stringerea contactelor. În caz contrar, ecranul rămânând nepotențializat, este posibilă deteriorarea transformatorului în exploatare.

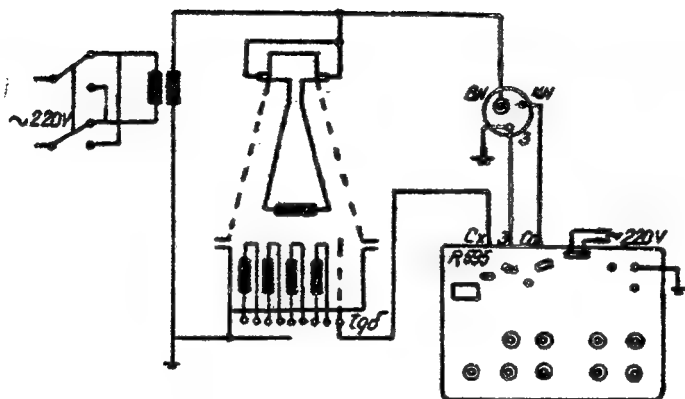


Fig.3.3.6.b. Măsurarea tg δ la transformatoarele de curent CESU-220 kV cu puntea R-595, în schema normală.

c) Măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele CESU - 400 kV

Pînă la procurarea unor punți cu dublă ecranare a întregii scheme, care să funcționeze în schema cu diagonală la pământ, măsurarea se poate face și cu punțile de teren existente (MD-16 și R-595), în schema inversată, utilizînd aceeași conexiune a transformatorului verificat ca la transformatorul CESU - 110 kV și luînd aceleași măsuri de reducere a influențelor perturbatoare. Cum influențele electrostatice și electromagnetice sînt mult mai puternice în aceste stații acestora adăugîndu-se și unele perturbații de înaltă frecvență datorită apariției efectului coroană pe conductoare și echipament, pentru o măsurare a tg δ cu o eroare acceptabilă, sînt necesare distanțe mult mai mari (de ordinul 15-20 m) între părțile sub tensiune.

ne ale instalației și obiectul încercat. În cazul în care nici aceste distanțe nu asigură condiții pentru execuția măsurării, este necesară întreruperea totală sau parțială a stației.

3.3.5. Măsură suplimentare de protecție a muncii

Pentru execuția probei se vor respecta condițiile prevăzute în "Normele de protecție a muncii pentru instalațiile electrice" și condițiile specifice suplimentare pentru verificări cu înaltă tensiune, prevăzute la pct. 2.4. și 3.5. din prezentele instrucțiuni.

3.4. Încercarea izolației înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent cu tensiune alternativă mărită

3.4.1. Scopul probei

Încercarea izolației secundare a transformatoarelor de curent se execută cu scopul de a se determina integritatea izolației înfășurărilor secundare față de părțile legate la pământ ale transformatorului sau față de alte înfășurări secundare.

Această probă pune în evidență slăbirea, ca urmare a îmbătrânirii sau degradării sub acțiunea condițiilor de mediu (umeziri, depuneri de praf), a izolației înfășurărilor secundare față de masă sau față de alte înfășurări secundare.

Încercarea este normalizată prin STAS 4324-78, "Transformatoare de curent - Condiții generale", punctul 2.3.10., prin PE 116/1980, "Normativ de încercări și măsurători la echipamentele și instalațiile energetice", cap.8, pct. 8.4.

3.4.2. Aparatura necesară schemei de încercare și modul de execuție a încercării

Încercarea poate fi efectuată atât cu aparatură specială destinată acestui scop, cât și cu ajutorul unui montaj realizat din piese separate.

Din aparatura specializată pentru astfel de încercări fac parte:

- Trusa de tensiune 2 kV - ICEMENERG;
- Laboratorul mobil LM3 - ICEMENERG,

Schema de încercare și modul de execuție a măsurătorilor utilizând trusa de 2 kV sînt prezentate în fig. 3.4.1.

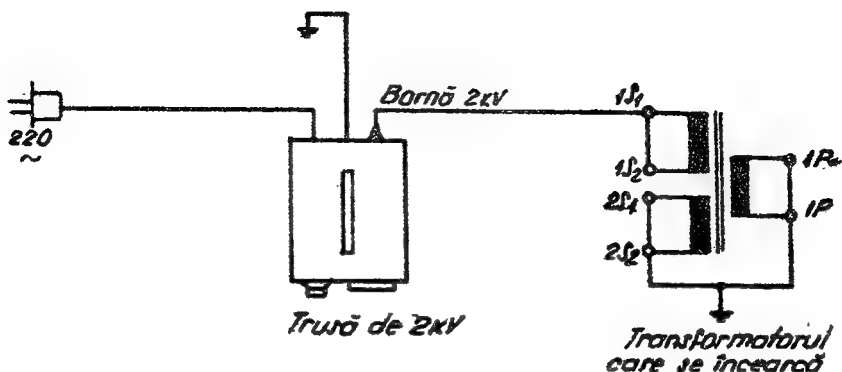


Fig.3.4.1. Schema de încercare cu tensiune mărită a înfășurărilor secundare la transformatoarele de curent, utilizând trusa de 2 kV.

În vederea încercării, se desfac legăturile la transformatorul ce urmează să fie încercat, atât pe partea primară, cât și pe partea secundară.

Înfășurarea ce urmează să fie încercată se scurtcircuită și se leagă la borna de 2 kV a trusei.

Înfășurările celelalte, inclusiv înfășurarea primară, se scurtcircuită și se leagă la pământ.

Se verifică încă o dată montajul și se îndepărtează personalul din apropierea legăturii de înaltă tensiune, se îndepărtează la o distanță de circa 15 m de părțile sub înaltă tensiune toate piesele metalice legate la pământ.

Se verifică poziția de zero a butonului de creștere a tensiunii.

Se alimentează trusa de 2 kV de la rețea și se crește lent tensiunea, pînă la valoarea progresivă a tensiunii de încercare.

După scurgerea timpului de încercare, se coboară lent tensiunea și se deconectează trusa de la rețea.

Se descarcă înfășurarea încercată cu o ștangă legată la pământ, după care se desface montajul, refăcîndu-se schema inițială de funcționare a transformatorului de curent.

Schema de încercare și modul de execuție a probei,
în cazul utilizării laboratorului mobil LM3

În vederea execuției probei, se efectuează pe panoul de comandă și în interiorul compartimentului de înaltă tensiune următoarele manevre și legături:

- Se trece comutatorul de alegere CA pe poziția ARDERE Ujt.

- Se trece comutatorul de ÎNCERCARE MT pe poziția, 2 kV.

- Se montează izolatorul de trecere în geamul laboratorului mobil.

- Se realizează legătura dintre borna de ieșire a panoului cu conexiuni, borna superioară a separatorului de punere la pământ și borna interioară a izolatorului de trecere.

- În exterior se realizează legătura dintre izolatorul de trecere și înfășurarea transformatorului care se încearcă,

Aceasta va avea bornele scurtcircuitate.

- Se scurtcircuitează bornele celorlalte înfășurări ale transformatorului și se leagă la pământ.

- Se verifică încă o dată montajul realizat.

- Se îngrădește transformatorul care se încearcă. Îngrădirea va cuprinde peretele autolaboratorului, inclusiv ușa de acces în compartimentul de înaltă tensiune.

- Se evacuează personalul din zona îngrădită și se alimentează autotransformatorul de la rețea.

- Se alimentează pupitrul de comandă al laboratorului, prin intermediul cheii de pe panoul frontal al pupitrului.

- Se deschide separatorul de punere la pământ.

- Se crește tensiunea pînă la valoarea prescrisă și se așteaptă scurgerea timpului normat pentru încercare (PE 116/80, pct.8.4.)

- Se coboară lent tensiunea, se scoate pupitrul de sub tensiune și se închide separatorul de punere la pământ.

- Se deconectează alimentarea autolaboratorului și se desface îngrădirea și legătura la borna izolatorului de trecere.

- Se trece, după caz, la schimbarea înfășurării sau a transformatorului de încercat.

Pentru încercare, se realizează montajul din fig. 3.4.2.

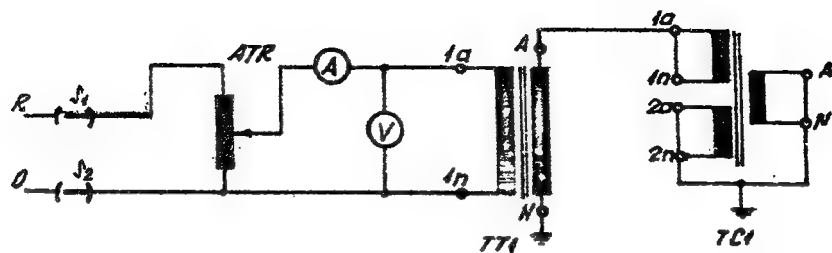


Fig.3.4.2. Schema de încercare cu tensiune mărită a înfășurărilor secundare la transformatoarele de curent utilizând montajul din piese separate: S_1, S_2 - siguranțele fuzibile automate de 6 A - 220 V; ATR - autotransformatorul reglabil de 8 A; A - ampermetrul de c.a., 5 A sau aparatul universal; V - voltmetrul de 0-220 V sau aparatul de măsură universal; TT1 - transformatorul ridicător, transformatorul de tensiune, TAD-2 etc., capabil să debiteze la 2 kV cel puțin 0,5 A; TT2 - transformatorul de tensiune încercat.

La realizarea montajului se va avea în vedere ca distanțele dintre partea de alimentare (transformatorul ridicător TT1) și transformatorul încercat TT2 să fie de 1,5 - 2 m.

În vederea executării probei se efectuează următoarele operații:

- se verifică încă o dată montajul realizat, conform figurii 4.4.2., în special legăturile la pământ;
- se îngrădește zona în care sînt amplasate transformatoarele TT1 și TT2;
- se verifică poziția de zero a autotransformatorului reglabil;
- se alimentează montajul de la rețea și se oprește tensiunea pînă la valoarea indicată în PE 116/80, pct. 8.4.;
- după scurgerea timpului de încercare, se coboară lent tensiunea și se deconectează montajul de la rețea.

3.4.3. Interpretarea rezultatelor probelor

În timpul probei nu trebuie să apară străpungeri sau conturnări exterioare sau interioare.

Transformatoarele la care nu apar fenomenele de mai sus se consideră corespunzătoare și pot rămâne în instalație.

Transformatoarele la care apar fenomenele de mai sus vor fi declarate necorespunzătoare, urmînd să fie înlocuite.

3.4.4. Măsurî specifice N.T.S.

La executarea lucrărilor de încercare se vor respecta prevederile cuprinse în "Norme de protecție a muncii pentru instalații electrice", aprobate cu ordinul M.E.E., nr. 335/1968.

În afară de cele de mai sus, se vor respecta următoarele: după efectuarea încercării și scoaterea instalației de încercare de sub tensiune, pe borna de înaltă tensiune a acesteia se va amplasa o ștangă mobilă legată la pămînt. Numai după aceasta se va putea trece la desfacerea legăturilor dintre borna de înaltă tensiune a instalației de încercare și bornele înfășurării încercate.

NOTĂ.

Schemele de încercare prezentate mai sus și normele de protecție a muncii indicate sînt aplicabile atît la transformatoare de măsură inductive, cît și la transformatoare de măsură capacitive.

3.5. Încercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită

3.5.1. Scopul probei

Încercarea izolației înfășurărilor de înaltă tensiune cu tensiune alternativă mărită aplicată se execută cu scopul de a se evidenția eventualele defecte concentrate apărute între înfășurarea primară și părțile puse la pămînt ale transformatorului, la transport, montaj sau în exploatare.

Încercarea izolației dintre secțiunile înfășurării primare se efectuează cu scopul de a se determina în ansamblu calitatea acesteia. Această încercare nu pune în evidență defecte concentrate ale izolației între secțiunile înfășurării primare, ci numai starea generală a izolației dintre acestea.

Încercarea izolației înfășurării de înaltă tensiune față de pământ și a izolației dintre spire este normată prin STAS - 4324 - 70 "Transformatoare de curent. Condiții generale", pct.2.3.1. și 2.3.4. și prin PE 116/80, "Normativ de încercări și măsurători la echipamentele și instalațiile electrice", cap.8, pct.8.5.

3.5.2. Aparatura necesară. Scheme de încercare

Având în vedere tensiunile de încercare impuse prin normativul PE 116/80, înfășurarea primară a transformatoarelor de curent poate fi încercată în condiții de exploatare la locul de montaj numai pentru transformatoarele cu tensiuni până la 35 kV inclusiv.

Peste această tensiune, înfășurarea primară a transformatoarelor de curent poate fi încercată numai în cadrul atelierelor de reparații trafo.

3.5.2.1. Aparatura de încercare a înfășurărilor primare a transformatoarelor de curent de 6 - 35 kV

Pentru încercarea izolației principale a înfășurării primare a transformatoarelor de curent de 6 - 35 kV se folosește laboratorul mobil LM3 ICEMENRG.

Pentru încercarea izolației dintre spirele înfășurării primare a transformatoarelor de curent se folosește megohmmetrul cu inductor de 2500 V sau teraohmmetrul.

Ca aparate se pot utiliza un megohmmetru cu inductor, de fabricație U.R.S.S., sau un teraohmmetru Ganz (R.P.U.), tip XSl.

3.5.2.2. Aparatura de încercare a înfășurărilor primare ale transformatoarelor de curent cu tensiuni de 110 - 400 kV

Pentru încercarea izolației principale a înfășurării primare a transformatoarelor de curent de 110-400 kV se folosesc instalații fixe capabile să asigure tensiunea de încercare recomandată în PE 116/80, cap. 8, pct.8.5., prevăzute cu dispozitive de reglaj al tensiunii cu protecții și dispozitive de măsură a tensiunii debitate.

Pentru încercarea izolației dintre spirele înfășurării primare, se utilizează megohmmetrul cu inductor sau teraohmmetrul de același tip, cu cele menționate la pct. 3.5.2.1.

3.5.3. Scheme de încercare

3.5.3.1. Schema de încercare pentru transformatoarele de curent de 6 -35 kV, utilizând laboratorul mobil LM3, este prezentată în fig.1.

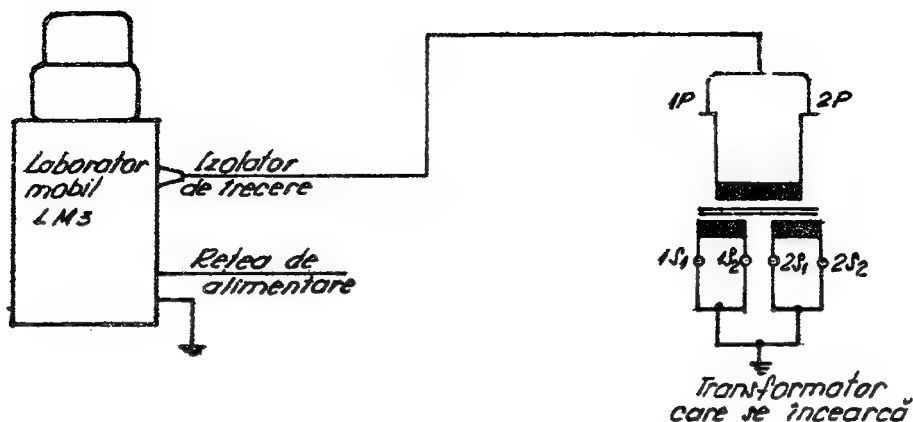


Fig.1. Schema de încercare cu tensiune mărită a izolației înfășurărilor primare la transformatoarele de curent, utilizând laboratorul LM3.

Pentru realizarea schemei de încercare, în afară de legăturile arătate în fig.1, în interiorul laboratorului mobil se mai execută legătura dintre transformatorul de 70 kV, borna superioară a separatorului de punere la pământ și borna interioară a izolatorului de trecere din geamul lateral al autolaboratorului.

Pe pupitrul de comandă al autolaboratorului se așază comutatorul de alegere CA pe poziția ÎNCERCARE UIT.

Pentru încercarea izolației dintre secțiunile înfășurării primare, după desfacerea legăturilor dintre secțiunile înfășurării primare, se execută următorul montaj (fig.2):

Cînd se utilizează megohmmetrul cu inductor, conductoarele cu care se încercă se leagă la bornele LUNIA și PĂMÎNT, borna ECRAN rămînd liberă.

Cînd se utilizează teraohmmetrul, conductoarele cu care se încercă se leagă la bornele plus și minus, borna ECRAN rămînd liberă.

3.5.3.2. Schema de încercare pentru transformatoarele de curent cu tensiuni nominale de 110 - 400 kV este similară cu cea prezentată în fig.1, cu singura deosebire că, în locul autolaboratorului mobil LM3, apare

sursa de înaltă tensiune fixă a atelierului sau laboratorului în care se efectuează încercarea.

Schema de verificare a izolației dintre secțiunile înfășurării primare pentru transformatoarele de 110 - 400 kV este identică cu cea prezentată în fig.2.

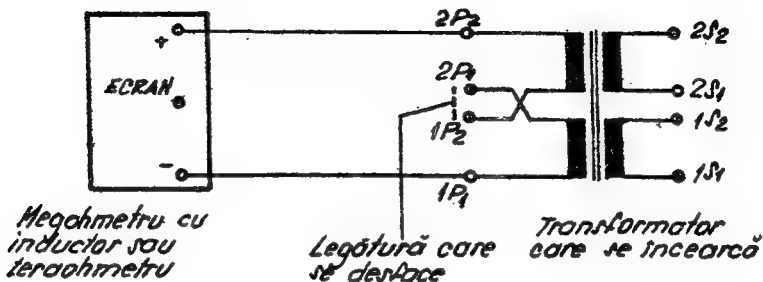


Fig.2. Schema de măsurare a rezistenței de izolație dintre secțiunile înfășurării primare la transformatoarele de curent.

3.5.4. Modul de lucru

3.5.4.1. Pentru încercarea transformatoarelor de curent cu tensiuni nominale de 6 - 35 kV, după executarea montajului prezentat în fig.1. și la pct.3.5.3.1., se execută următoarele:

- se îngrădește spațiul din jurul transformatorului care se încercă;
- se evacuează personalul din zona îngrădită;
- se verifică încă o dată legăturile la pământ;
- se alimentează laboratorul de la rețea;
- se alimentează pupitrul de comandă, prin intermediul cheii de pe pupitrul;
- se deschide separatorul de punere la pământ;
- se apasă butonul de încercare la înaltă tensiune (IT);
- se crește tensiunea pînă la atingerea valorii de încercare prescrisă;
- se așteaptă scurgerea timpului de încercare normal, după care se deconectează pupitrul și se scoate alimentarea laboratorului mobil de la rețea;
- se desfac legăturile de la laboratorul mobil la obiectul de încercat.

Pentru încercarea izolației dintre spirele primare ale transformatoarelor de curent se execută următoarele operații:

- se verifică încă o dată corectitudinea legăturilor;
- se îndepărtează personalul de bornele primare ale transformatorului și de cordoanele de legătură dintre acestea și inductor;
- se rotește inductorul cu 16 - 20 rotații pe minut și se citesc indicațiile acestuia, după ce acul instrumentului s-a stabilizat;
- după terminarea citirii și oprirea inductorului, secțiunile de înfășurare încercate se descarcă.

3.5.4.2. Încercarea transformatoarelor de curent cu tensiuni nominale de 110 - 400 kV se efectuează, în general, după aceeași schemă de manevre ca cea menționată la pct. 3.1.

Se va avea o grijă deosebită ca la terminarea încercării tensiunea să se coboare lin. Nu este permisă deconectarea bruscă.

Încercarea izolației între spire la aceste transformatoare se execută întocmai ca pentru cele cu tensiuni de 6 - 35 kV.

3.5.5. Interpretarea rezultatelor

Se consideră corespunzător transformatorul de curent care în cursul încercărilor nu prezintă conturnări sau străpungeri sau la care în timpul încercării nu se aud zgomote din interiorul cuvei.

3.5.6. Măsurile N.T.S. și P.S.I.

3.5.6.1. Măsurile N.T.S.

La executarea probelor de încercare se vor respecta prevederile cuprinse în cap. 6,15 și 16 din "Norme de protecție a muncii pentru instalațiile electrice", aprobate cu ordinul M.E.E., nr. 355/1968.

În afară de cele de mai sus, se va avea grijă ca, după încercarea cu tensiune mărită, transformatorul de încercat să se descarce la pământ cu ajutorul unei ștangi.

După încercarea izolației între secțiunile înfășurării primare cu inductorul de 2500 V, acestea vor fi descărcate la pământ.

3.5.6.2. Măsurile P.S.I.

La încercarea transformatoarelor de curent a căror izolație este realizată din hirtie de ulei, înainte de probă se vor șterge petele de ulei de pe exteriorul carcasei.

De asemenea, în zona de lucru se va aduce un număr de stingătoare cu praf și CO_2 , corespunzător volumului de ulei conținut în transformator.

3.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor transformatoarelor de curent

3.6.1. Scopul probei

Această probă se efectuează obligatoriu la punerea în funcțiune, după repararea înfășurărilor și, facultativ, la anumite intervale de timp.

Prin măsurarea rezistenței ohmice se verifică rezistența de contact a înfășurărilor la borne, continuitatea înfășurărilor, lipsa unor scurtcircuite între spire.

3.6.2. Metode utilizate. Scheme de încercare

Măsurarea rezistenței ohmice se poate executa prin mai multe metode. În aceste instrucțiuni se recomandă utilizarea a două metode:

- metoda punții;
- metoda voltmetru-ampermetru;

3.6.2.1. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor primare la transformatoarele de curent de 6-400 kV și a înfășurărilor secundare având curent nominal de 5 A (transformatoare de curent de 6 - 110 kV, rezistențe ohmice mici).

a) Metoda punții duble (Thomson)

Schema de măsurare este dată în fig. 3.6.1 a și b. Puntea dublă. Schema de principiu a unei astfel de punți este dată în fig. 3.6.2.

Modul de manevrare al punții duble constă în reglarea raportului rezistențelor r_1/r_2 și r'_1/r'_2 , menținând calitățile $r_1 = r'_1$ și $r_2 = r'_2$. Fiecare din aceste rezistențe trebuie să fie de cel puțin 10 ohmi; se reglează cursorul g în poziția pentru care rezistența r este egală cu valoarea presupusă a rezistenței r_x care se verifică; se închide întreruptorul K și se reglează curentul din circuitul bateriei, cu ajutorul reostatului R; se apasă butonul B și se reglează cursorul g, pînă se aduce acul galvanometrului în poziția de zero.

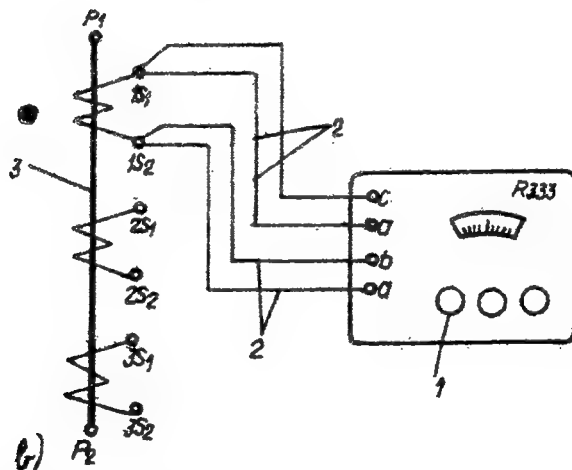
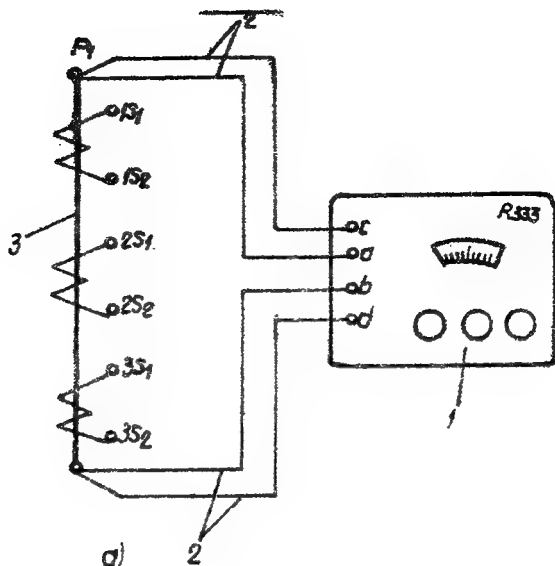


Fig.3.6.1. Măsurarea rezistenței ohmice cu puntea de teren de tip R-333 (U.R.S.S.):
1 - puntea tip R-333; 2 - cordonale de măsură; 3 - transformatorul de verificat.

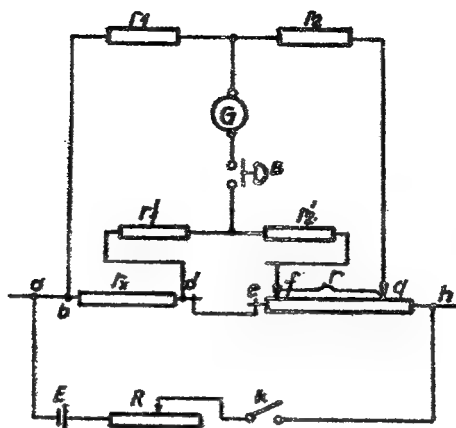


Fig.3.6.2. Schema de principiu a punții duble:
 r_1, r_2, r_1', r_2' - rezistențele de precizie;
 r_x - rezistența de verificat; G - galvanome-
 trul cu ac indicator; B - butonul cu reținere;
 R - reostatul; K - întreruptorul; E - bateria
 de curent continuu.

Valoarea rezistenței măsurate este dată de relația:

$$r_x = r \frac{r_1}{r_2} \quad , \dots$$

valoare ce se poate citi direct pe punte.

Deoarece rezistențele de contact din punctele a, d, e, h se află dincolo de limitele rezistențelor r_x și r , este înlăturată influența pe care ar putea-o avea rezistențele de contact asupra valorii măsurate.

De asemenea, nu intervin erorile datorită cordoanelor de legătură, deoarece sînt inseriate cu rezistențe a căror valoare este de cel puțin 10 ohmi.

Cordoanele de legătură avînd o secțiune de minim 6 mm², sînt prevăzute la capete cu papuci și sînt conectate cîte două la fiecare bornă a înfășurării verificate.

Transformatorul verificat este separat de circuitele primare și secundare ale instalațiilor.

b) Metoda voltmetrului și a ampermetrului
Montajul amonte

Schema de măsură este dată în fig. 3.6.3.

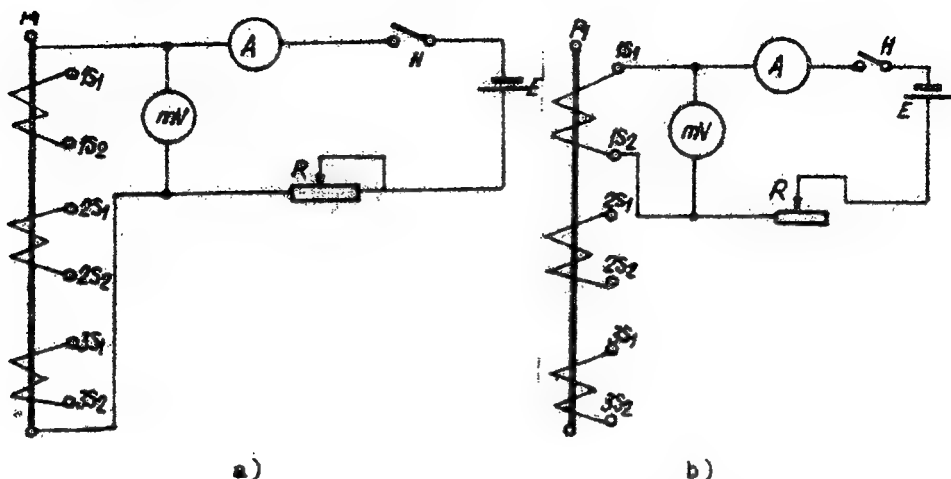


Fig.3.6.3. Măsurarea rezistențelor ohmice ale înfășurării primare (a) și ale unei înfășurări secundare (b) prin metoda voltmetru-ampermetru: mV - milivoltmetrul de curent continuu; A - ampermetrul de curent continuu; R - reostatul de reglaj; E - bateria de acumulare; H - beblul .

În schema de măsurare din fig. 3.6.3.:
mV este milivoltmetrul de curent continuu de clasă 0,5 + 1, avînd rezistența internă mare, cu domeniul de măsură:

0 12 mV
0 6 mV
0 1,2 mV

mA - ampermetrul de curent continuu de clasă 0,5, cu domeniul de măsură de 0... 5A;
R - reostatul de reglaj de 100 ohmi, 5 A.
E - bateria de acumulare de 12 V, 40 Ah;
H - beblul bipolar.

Rezistența măsurată se calculează cu expresia:

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}},$$

unde:

U - tensiunea măsurată la bornele transformatorului;
 I - curentul măsurat de ampermetru;
 R_v - rezistența internă a milivoltmetrului.

3.6.3. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent avînd curentul nominal de 1 A (transformatoare de curent CESH_k - 220 - 400 kV)

a) Metoda punții simple (Wheatstone)

Schema de verificare este dată în fig. 3.6.4.

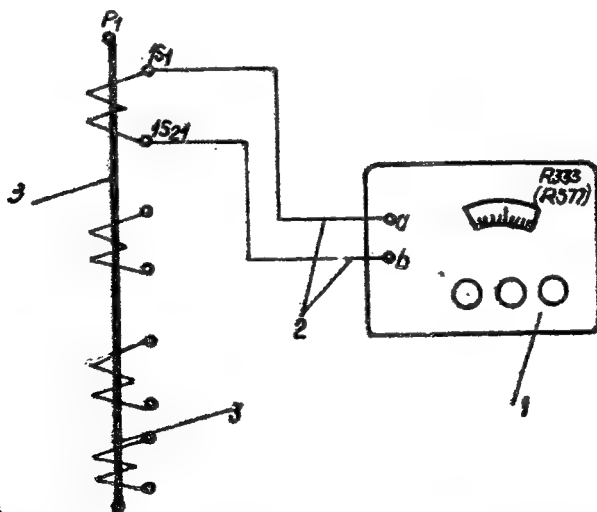


Fig. 3.6.4. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent avînd curentul nominal de 1 A (transformatorului de curent CESH_k - 220 - 400 kV):
 1 - puntea simplă de teren Wheatstone, de tip R-333 (U.R.S.S.); 2 - cordoanele de legătură etalonate; 3 - transformatorul verificat.

Puntea simplă Wheatstone

Schema acestei punți este reprezentată în fig.3.6.5.

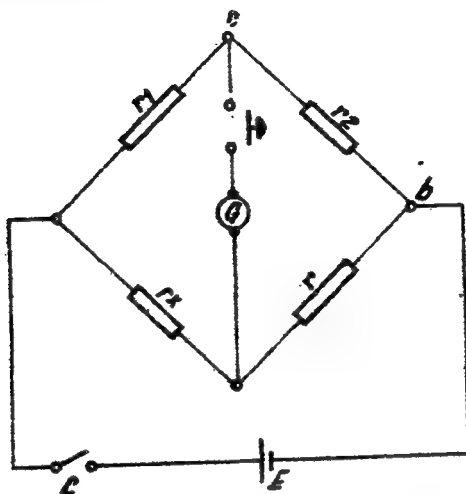


Fig.3.6.5. Schema de principiu a punții simple (Wheatstone, de teren): r_1 , r , r_2 - rezistențele din brațele punții; G - galvanometrul cu ac indicator; B - butonul de conectare a galvanometrului; E - bateria de curent continuu; C - întreruptorul.

Puntea conține trei rezistențe r_1 , r , r_2 , rezistența ohmică care se măsoară (r_x) și galvanometrul cu ac indicator. La echilibru, valoarea rezistenței care se măsoară este dată de relația:

$$r_x = r \frac{r_1}{r_2},$$

valoare care se poate citi direct pe punte.

În cazul acestei punți, în valoarea măsurată sînt incluse rezistențele firelor de legătură și rezistențele de contact ale acestor fire.

De aceea, această punte se utilizează numai la măsurarea rezistențelor ohmice mari.

Cordoanele de măsură etalonate

Cordoanele de măsură vor fi confecționate din conductor de cupru lițat și izolat, avînd secțiunea de minimum 6 mm² și vor fi prevăzute la capete cu papuci din cupru sau alamă. Lungimea lor nu va depăși, pe cît posibil, lungimea dictată de distanțele dintre punctele de conexiune, iar rezistența lor va fi determinată în prealabil.

Transformatorul verificat

Transformatorul ce urmează a fi verificat va fi separat de circuitele primare și secundare ale instalațiilor. Înfășurările la care nu se execută măsurarea sînt lăsate libere.

NOTĂ.

Se poate utiliza și puntea dublă, valorile măsurate fiind însă la limita domeniului inferior al punții.

b) Metoda voltmetru - ampermetru

Montajul amonte

Această metodă se aplică conform subpet. b și fig. 3.6.3. b..

3.6.5. Condițiile de execuție a probei

Măsurarea se execută numai după deconectarea tuturor legăturilor primare și secundare. În timpul măsurării unei înfășurări, celelalte înfășurări rămîn libere (deschise).

Pentru a evita erorile de măsură datorate încălzirii înfășurării măsurate, curentul din înfășurare nu va depăși 20 % din curentul nominal al acesteia, corespunzător clasei de precizie garantate.

NOTĂ.

La metoda volt-ampermetrului se vor respecta următoarele reguli:

- închiderea și deschiderea curentului se va face numai cu voltmetrul deconectat (conectarea voltmetrului se va efectua după închiderea circuitului, iar deconectarea voltmetrului se va efectua înainte de deschiderea circuitului). În acest fel se evită deteriorarea voltmetrului din cauza tensiunilor induse;

- manevrele de deschidere sau închidere ale circuitului se vor efectua după ce se fixează valoarea maximă a rezistenței reostatului;

- după conectarea circuitului, se așteaptă stabilizarea indicațiilor aparatelor;

- suprafețele de contact trebuie bine curățate cu smirghel (cu granulație fină);

- contactele se vor efectua prin strângerea lor corespunzătoare;

- montajul se va efectua cât mai aproape posibil de locul de fixare a transformatorului de verificat.

Întrucât măsurarea se execută la joasă tensiune, iar în timpul măsurării este exclusă apariția înaltei tensiuni din montajele prezentate, nu sînt necesare măsuri suplimentare specifice N.P.M.

3.6.6. Interpretarea rezultatelor

Transformatoarele sînt considerate corespunzătoare dacă valorile măsurate nu diferă cu mai mult de 2 % de valorile de referință.

Pentru efectuarea comparației valorilor calculate cu valorile de referință, este necesar să se facă recalcularea la temperatura inițială a valorilor măsurate.

Recalcularea rezistenței ohmice la temperatura de referință se face cu formula:

$$R_0 = R_m \left[1 + \alpha (t_m - t_0) \right]$$

$$\alpha_{cu} = 0,00393$$

unde:

R_m este valoarea rezistenței măsurate la temperatura la care s-a executat măsurarea;

t_m - temperatura la care s-a executat măsurarea;

t_0 - temperatura inițială.

Dacă valoarea măsurată este extrem de mică în comparație cu valoarea de referință, înfășurarea are spire în scurtcircuit.

3.7. Verificarea polarității înfășurărilor

3.7.1. Scopul verificării

Ca și în cazul transformatoarelor de tensiune, verificarea polarității are drept scop depistarea unor eventuale inversiuni de borne, nesesizate la livrarea transformatorului din fabrică sau după efectuarea unor reparații în atelier. Din acest motiv, ea se execută numai la PIF, după reparația sau recondiționarea transformatoarelor în atelier, cu demontarea legăturilor interioare la bornele secundare.

3.7.2. Principiul metodei, aparatura de măsură și modul de lucru

Pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de curent se folosește metoda curentului continuu. Aceasta se bazează pe faptul că la o polaritate corectă a bornelor secundare, un impuls de scurtă durată, de polaritate cunoscută, injectat la bornele primare va fi transformat corect, fiind regăsit la bornele secundare cu aceeași polaritate, cu ajutorul unui miliampermetru magnetoelectric.

Pentru transformatoarele de curent cu miezuri toroidale separate pentru fiecare înfășurare, fără întrefier, cu înfășurări secundare pentru 5 A sau 1 A, schema pentru determinarea polarității bornelor este dată în fig.3.7.1.

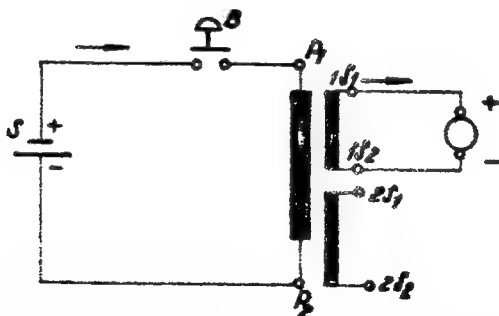


Fig.3.7.1. Schema de principiu pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda curentului continuu: S - bateria de 4,5 V; B - butonul de revenire tip RF-6, 6 A - 500 V; MA - miliampermetru magnetoelectric, cu amortizare mare, cu domeniul de măsură de 0-5 mA, 0-10 mA, de preferință cu zero la mijlocul scalei; TC - transformatorul de curent verificat.

În cazul lipsei miliampermetrului (mA), acesta poate fi înlocuit cu un aparat universal conectat cu miliampermetru de curent continuu, la început pe o gamă de 0 - 30 mA. În funcție de mărimea impulsului detectat la bornele înfășurării secundare, aparatul poate fi conectat pe o gamă mai redusă de curent.

Se apasă butonul B timp de 2 - 3 secunde și se urmărește deviația aparatului de măsură. În cazul utilizării unui aparat universal, se modifică domeniul de măsură până la obținerea unei deviații convenabile la aparat.

La o polaritate corectă a bornelor, acul aparatului va devia spre dreapta, pentru scurt timp. Se deconectează alimentarea circuitului primar, prin revenirea butonului B. În acest caz, acul aparatului va devia, pentru scurt timp, spre stînga, în sens contrar deviației anterioare.

În cazul unei polarități greșite a înfășurării secundare, la conectarea circuitului primar, acul aparatului indicator va devia spre stînga, iar la deconectare, deviația acestuia va fi spre dreapta.

Pentru mărirea operativității măsurării și evitarea greșelilor de montaj, se poate utiliza, pentru verificarea polarității transformatoarelor de curent, același indicator de polaritate gata montat, utilizat și pentru verificarea polarității transformatoarelor de tensiune.

Indicatorul de polaritate (care înglobează bateria de alimentare cu curent continuu, butonul cu revenire, aparatul indicator) este prevăzut suplimentar față de schema din fig. 3.7.1. cu o rezistență de circa 1000Ω , reglabilă continuu (reostat sau potențiometru) sau în 4 - 5 trepte, pentru reglarea măririi impulsului și protejerea aparatului indicator.

În cazul transformatoarelor de curent, verificarea polarității făcîndu-se cu tensiune foarte coborîtă, nu se impun măsuri suplimentare de protecție a muncii ca în cazul transformatoarelor de tensiune.

3.8. Verificarea raportului de transformare la transformatoarele de curent

3.8.1. Scopul verificării

Verificarea raportului de transformare la transformatoarele de curent are ca scop să determine dacă în cursul transportului de la fabricant la locul de montaj în interiorul transformatorului au apărut modificări care să afecteze raportul de transformare.

De asemenea, la transformatoarele cu mai multe conexiuni primare, verificarea are ca scop să determine dacă transformatorul se află pe conexiunea corectă, cerută de schema primară la funcționare. Aceasta, deoarece eclizele de comutare ale transformatoarelor de curent, de fabricație IEPG, nu sînt accesibile decît după demontarea unor piese mecanice care necesită un volum mare de muncă (capace, burdufe).

Verificarea raportului de transformare este normată prin STAS 4324 - 70, "Transformatoare de curent, condiții generale", pct.3.1. și prin PE 116/80, "Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice".

3.8.2. Aparatura necesară, scheme de montaj

3.8.2.1. Aparatura necesară

În vederea verificării raportului de transformare, la transformatoarele de curent sînt necesare următoarele instalații și aparate:

- Laborator mobil LMZ ICMENBERG;
- Trusă de curent de 2000 A (inclusiv cîrdoanele și clemele proprii ale trusei);
- Ampermetre (2 buc.) electromagnetice sau electro-dinamice de 0 - 5 A sau de 0 - 2,5 - 5 A, de clasă 0,2 sau 0,5;
- Cîrdoane de legătură;
- Transformator de măsură toroidal, cu conexiuni multiple de 2000/5 A și 1000/5 A, clasă 0,5, 0,2 sau 0,1.

Aparatura menționată mai sus permite verificarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent cu un curent nominal de pînă la 1600 A, în condițiile prevăzute de STAS 4324-70 și PE 116/80, respectiv pînă la $1,2 I_N$.

3.8.2.2 Schemele de montaj

În vederea verificării raportului de transformare, la transformatoarele de curent se va executa montajul din fig. 3.8.2.2.

La transformatorul de curent care se încearcă, se vor scurtcircuita înfășurările care nu se verifică.

Legăturile dintre pupitrul de comandă, clemele L_1 9 și L_1 10 și transformatorul de 2000 A se vor executa cu conductor flexibil de 16 mm^2 .

Legăturile dintre transformatoarele de curent și ampermetre se execută cu conductor de $2,5 \text{ mm}^2$, iar acestea se vor plasa la circa 2,5-3 m distanță de transformatorul trusei de 2000 A.

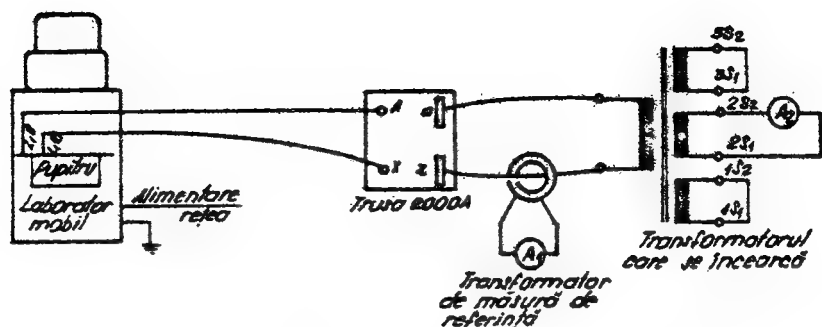


Fig.3.8.2.2. Schema de verificare a raportului de transformare la transformatoarele de curent utilizând LM3 ca sursă și trafa 2000 A.

3.8.3. Modul de execuție a probei

În vederea verificării raportului de transformare la transformatoarele de curent utilizând montajul din fig. 1, se execută următoarele manevre:

- se mai verifică încă o dată corectitudinea montajului, în special stingerea cordonelor de mare intensitate, amplasarea ampermetrelor față de transformatorul de 2000 A și șuntarea înfășurărilor secundare care nu se verifică;
- se verifică legarea la pământ a laboratorului mobil;
- se îndepărtează personalul din zona de lucru și se alimentează laboratorul mobil;
- se alimentează pupitrul laboratorului, prin intermediul cheii de pe panoul frontal al pupitrului;
- se lasă închis separatorul mobil pe toată durata probei;
- se apasă butonul, tensiunea crește și se citește în direcția celor două ampermetre în momentul în care se atinge curentul primar la care se face verificarea;
- se coboară lent tensiunea și se deconectează alimentarea pupitrului;
- se deconectează alimentarea autolaboratorului și se trece la desfășurarea montajului de verificare.

3.8.4. Interpretarea rezultatelor

În cursul măsurătorii se înregistrează curenții celor două ampermetre, se face transformarea în curenți primari, avînd în vedere rapoartele de transformare de pe plăcuțele transformatorului care se verifică și ale transformatorului de referință și se compară valorile obținute între ele.

Valoarea curențului dat de transformatorul de curent toroidal se consideră ca valoare de referință. Cu aceasta se compară valoarea curențului dat de transformatorul care se verifică.

3.8.5. Măsurii speciale N.P.M. și P.S.I.

3.8.5.1. Măsurii speciale N.P.M.

La executarea verificărilor raportului de transformare la transformatoarele de curent, se vor respecta "Normele de protecție a muncii pentru instalații electrice", aprobate cu ordinul M.E.E., nr.335/1938.

Avînd în vedere că această încercare se execută la joasă tensiune (maximum 220 V), se vor respecta normele pentru lucru la joasă tensiune.

Se va avea o deosebită grijă să nu se deschidă sub sarcină secundarele transformatoarelor de curent și să nu se deschidă sub sarcină calea de curent principală (curenți intensi).

3.8.5.2. Măsurii speciale P.S.I.

La verificarea transformatoarelor de curent care conțin ulei se va aduce în zona de lucru un număr de stingătoare cu praf și CO₂, corespunzător volumului de ulei din carcasa transformatorului.

3.9. Ridicarea caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele de curent

3.9.1. Scopul încercării

Conform normativului PE 116/80, ridicarea caracteristicilor de magnetizare (curbele volt-amperi) la transformatoarele de curent din unitățile sectorului energetic se execută obligatoriu la punerea în funcțiune a acestora sau cu ocazia unor reparații accidentale ale înfășurărilor, fiind facultativă în exploatare.

Execuția ei are drept scop:

a) depistarea unor scurtcirkuite, ca armare a unor defecțiuni intervenite în timpul transportului, montajului sau în exploatare. Prezența unui defect de acest tip este pusă în evidență de modificarea alurei caracteristici de magnetizare (fig.3.9.1.).

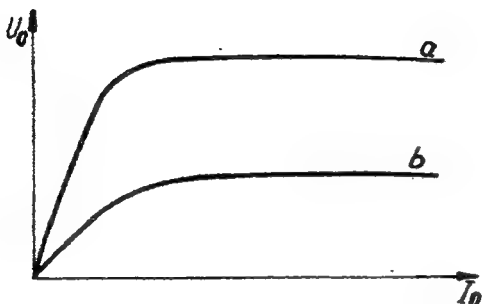


Fig.3.9.1. Alura caracteristicii de magnetizare pentru: a) transformator de curent normal; b) transformator de curent cu scurtcircuit între spirele înfășurării secundare.

Întrucît fabrica furnizoare nu ridică aceste caracteristici la livrare, alura curbelor se compară cu curbele inițiale sau, în cazul transformatoarelor noi, cu curbele ridicate la transformatoare de același tip;

b. depistarea unor inversiuni ale înfășurărilor secundare la livrarea din fabrică, în cazul transformatoarelor cu mai multe înfășurări secundare de protecție sau de măsură (eventual inversarea prizei, în cazul înfășurărilor secundare la care pentru modificarea raportului de transformare se utilizează mai multe prize). Întrucît, conform STAS 4324-70, verificarea coeficientului de saturație este probă de tip și nu individuală și ridicarea caracteristicilor de magnetizare nu s-a efectuat la livrare pînă în anul 1979, este posibil ca în timpul execuției să se facă inversări la legarea înfășurărilor secundare la borne. În cazul în care erorile de raport și unghi sînt mici, toate înfășurările de protecție și măsu-

vă încadrându-se în clasa 0,5, sînt posibile inversări ale înfășurărilor de măsură cu cele de protecție sau a înfășurărilor de protecție între ele, fără ca probele individuale prevăzute în STAS 4324/70 să poată scoate în evidență greșeala.

O verificare a destinației fiecărui secundar este posibilă prin ridicarea caracteristicilor de magnetizare pentru toate înfășurările secundare și pentru toate prizele, știut fiind că la același curent de magnetizare înfășurarea cu coeficientul de saturație cel mai ridicat va prezenta tensiunea de magnetizare cea mai ridicată (fig.3.9.2.).

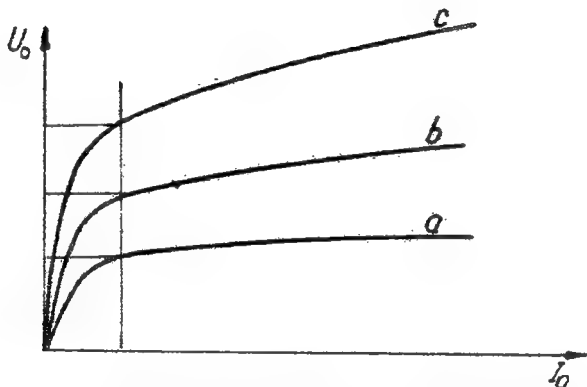


Fig.3.9.2. Caracteristicile de magnetizare pentru un transformator cu trei înfășurări:

- a - înfășurarea de măsură, $n < 10$;
- b - înfășurarea pe protecție, $n > 10$;
- c - înfășurarea de protecție, $n > 20$

c) alegerea unor transformatoare de curent cu caracteristici de magnetizare similare pentru realizarea unor scheme de protecție prin relee. Cazuri tipice din acest punct de vedere sînt protecțiile care impun un curent de dezechilibru minim transversal (protecții racordate la filtre de curent homopolar), protecțiile diferențiale de bare etc.;

d) calculul exact al coeficientului de saturație al înfășurării respective în regim stabilizat sau tranzitoriu de scurtcircuit sau recalcularea lui, în cazul reducerii sarcinii secundare. Pentru efectuarea deter-

minării coeficientului de saturație se poate utiliza metoda indirectă (de mers în gol), prevăzută în STAS 4324 - 70, pct. 4.5.3. sau 4.6.2.

3.9.2. Metodologia ridicării caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele de curent CESU-110 kV

a) Schemele de verificare și utilajul de bază pentru ridicarea caracteristicilor de magnetizare cu curent alternativ de frecvență industrială sînt date în fig. 3.9.3.

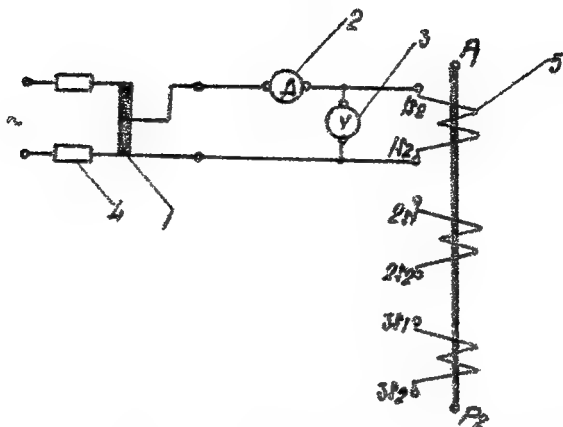


Fig.3.9.3. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele CESU-110 kV.

În această figură notațiile reprezintă:

- 1 - autotransformatorul reglabil ART-8 de 220/0 220 V; 8 A;
- 2 - ampermetrul electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură:
0 0,5 A,
0 5 A.

În cazul cînd ridicarea caracteristicii de magnetizare are un caracter informativ, neservind la calcularea coeficientului de saturație n al înfășurării respective, se poate utiliza și un aparat universal, cu redresare, de clasă 1,5, cu mai multe domenii de măsură ;

- 3 - voltmetrul electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură:
0 75 V,
0 150 V.

Aparatul va fi cu rezistență internă mare (minimum $100 \sqrt{V}$).

În cazul în care ridicarea caracteristicii de magnetizare are un caracter informativ, neservind la calcularea coeficientului de saturație, se poate utiliza și un voltmetru de clasă 1,5 sau un aparat universal cu redresare;

4 - siguranțele fuzibile cu patron sau siguranțele automate de la A - 500 V;

5 - transformatorul de curent verificat.

Transformatorul CESU-110 kV, ce urmează a fi verificat, este separat atât de circuitele primare, cât și de circuitele secundare ale instalațiilor, înfășurarea primară și restul înfășurărilor secundare fiind lăsate libere (necurtoircuitate).

b) Condițiile de execuție a probei

Alimentarea se face cu o tensiune practic sinusoidală, de frecvență industrială. Se crește tensiunea în trepte, începînd de la valoarea zero a acesteia, citindu-se de fiecare dată curentul de mers în gol. Pentru evitarea eventualei magnetizări remanente a miezului magnetic, caracteristica de magnetizare se ridică în sensul crescător, evitîndu-se coborîrea tensiunii pe parcurs sau întreruperea circuitului. Ridicarea caracteristicii se efectuează, de obicei, pînă la un curent de mers în gol egal cu curentul nominal al transformatorului. În cazul în care se urmărește calcularea coeficientului de saturație n , în regim de scurtcircuit stabilizat, caracteristica de magnetizare va depăși tensiunea limită de precizie (a se vedea STAS 4324-70, pct. 4.5.3.). După ridicarea caracteristicii, tensiunea se reduce la valoarea zero.

În cazul în care valorile curentului de magnetizare nu se pot citi cu ajutorul unui singur ampermetru, este permisă înserierea a două aparate cu domenii diferite de măsură, deșuntate pe rînd, în funcție de domeniul de măsură.

Ridicarea caracteristicilor se face pe rînd pentru fiecare secundar în parte. Cu valorile citite se trasează caracteristicile volt-ampermetrice în coordonate normale sau logaritmice.

Un exemplu de trasare a caracteristicilor de magnetizare ale unui transformator CESU-110 kV este dat în fig.3.9.4.

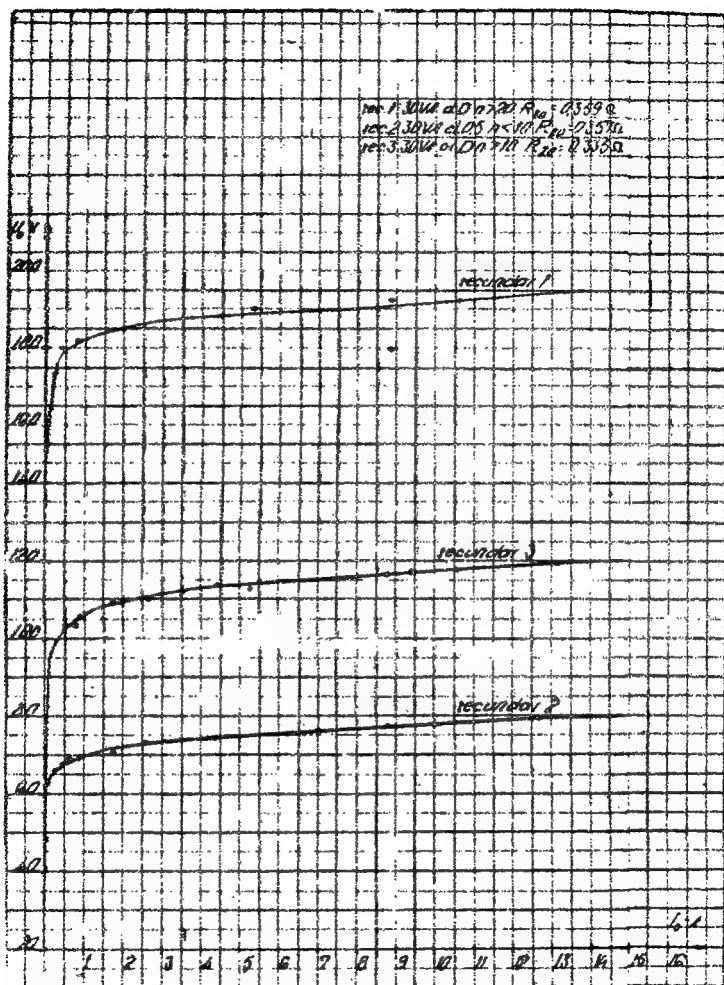


Fig.3.3.4. Caracteristica de magnetizare a transformatorului CBSU-110 kV, 1250/5/5/5 A, seria 913.320/1974.

3.9.3. Metodologia ridicării caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele de curent CESH-220 și 400 kV

a) Schema de verificare și utilajul de bază pentru ridicarea caracteristicilor de magnetizare în curent alternativ de frecvență industrială sînt date în fig.3.9.5.

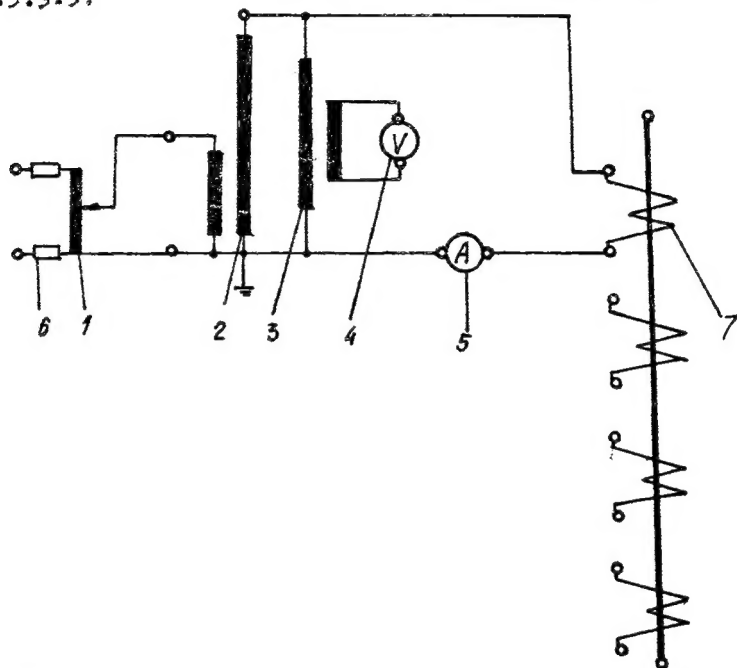


Fig.3.9.5. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicilor de magnetizare la transformatoarele CESH-220 și CESH_k-400 kV.

În fig.3.9.5. notațiile reprezintă:

- 1 - autotransformatorul reglabil ART-50, 220/0 245 V;
- 2 - transformatorul monofazic TAD-10 (existent pe laboratoarele mobile de încercări, fabricate de ICEMENERG 220/2 x 5000 V, 10 kVA;
- 3 - transformatorul de tensiune monofazic:

$$- \text{TIRM}_0 - 10; \frac{10000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100 \text{ V}$$

- TIRB₀ - 10; 1000/100 V

Conectarea acestui transformator se face numai în cazul în care gama de măsură a voltmetrului este insuficientă;

4 - ampermetrul electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură:

- pentru înfășurări secundare de 1 A:

0 250 mA;

0 1 A;

- pentru înfășurări secundare de 5 A:

0 500 mA;

0 5 A.

Atunci când ridicarea caracteristicilor de magnetizare nu se face în scopul calculării coeficientului de saturație n , se poate utiliza și un aparat universal cu redresare, de clasă 1,5, cu mai multe domenii de măsură;

5 - voltmetrul electromagnetic de clasă 0,5, cu următoarele domenii de măsură;

- pentru înfășurări secundare de 1 A:

0 30 V;

0 60 V;

0 300 V cu transformator de măsură auxiliar;

- pentru înfășurări secundare de 5 A:

0 150 V;

0 300 V;

0 600 V;

0 1200 V (sau transformator de măsură);

6 - siguranțele fuzibile cu patron sau siguranțe automate de 16 A - 500 V;

7 - transformatorul de curent verificat.

Transformatorul CESU-220 sau 400 kV ce urmează a fi verificat este separat atât de circuitele primare, cât și de circuitele secundare ale instalației, înfășurarea primară și restul înfășurărilor secundare fiind lăsate libere (necurtcircuitate);

b) Condițiile de execuție a probei sînt aceleași ca la transformatorul CESU-110 kV, cu următoarele precizări:

- caracteristicile de magnetizare se ridică pentru fiecare înfășurare secundară și pentru fiecare priză a acestora;

- întrucît în cazul transformatoarelor cu curent secundar de 1 A tensiunile de mers în gol la ridicarea

caracteristicii de magnetizare pentru unele înfășurări secundare au valori apropiate de tensiunea de încercare a acestora față de pământ (4 kV - 1 min), este necesar ca durata probei să fie cât mai scurtă.

Un exemplu de trasare a caracteristicilor de magnetizare ale unui transformator CESU-400 kV cu înfășurările secundare pentru un curent nominal de 1 A este dat în fig.3.9.6.

3.9.4. Măsurile specifice de protecție a muncii

La ridicarea caracteristicilor de magnetizare pentru transformatoarele CESU-110 kV, întrucât tensiunile aplicate nu depășesc, în general, 200 V, se vor respecta măsurile tehnice și organizatorice de protecție a muncii pentru executarea de lucrări în instalațiile electrice de înaltă tensiune. După separarea zonei de lucru, pentru execuția propriu-zisă a probei, se vor respecta normele de protecție a muncii specifice pentru încercările cu joasă tensiune.

În cazul transformatoarelor CESU-220 și 400 kV, unde tensiunea aplicată atinge valori până la 4 kV, se vor respecta normele de protecție a muncii specifice la executarea încercărilor profilactice în instalațiile electrice de înaltă tensiune de la o sursă independentă de tensiune mărită, cu următoarele precizări:

- transformatorul ridicător și transformatorul intermediar de măsură vor avea, obligatoriu, un capăt pus la pământ printr-un conductor de minimum 4 mm² Cu;
- ampermetrul se va monta obligatoriu pe legătura la pământ a secundarului verificat.

Întrucât izolația față de pământ a aparatelor de măsură este încercată cu 2 kV - 1 min, aparatul se va monta izolat;

- schimbarea domeniului de măsură al aparatului se face prin șuntare, și nu prin întreruperea circuitului. Persoana care face schimbarea domeniului de măsură va purta cizme și mănuși izolante și va sta pe un covor izolanț.

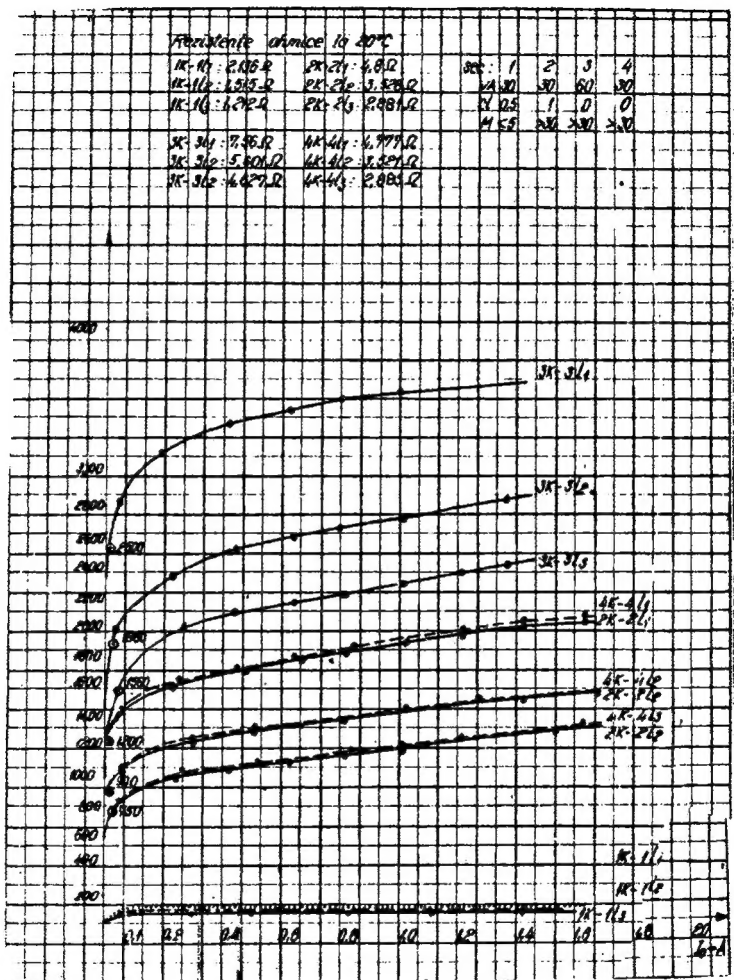


Fig.3.9.6. Caracteristica de magnetizare a transformatorului CESU_k-400 kV, 4±400/1/1/1A, seria 985.802/1972.